

PROYECTO FINAL DE CARRERA

USO Y APLICACIONES DE DRONES EN MINERÍA

INGENIERÍA DE MINAS

Curso 16/17

Autor: Manuel Sánchez García

Director: Lluís Sanmiquel Pera

Fecha: 17/09/2017

Localidad: Manresa

RESUMEN DEL PROYECTO

Los drones son una tecnología actual y en pleno desarrollo con múltiples aplicaciones pero ¿conocemos todas las posibilidades que nos ofrecen dentro de la minería? Este proyecto pretende dar respuesta a esta pregunta y poner de manifiesto todas las aplicaciones potenciales.

Los drones, también conocidos como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), son aeronaves que vuelan sin tripulación, reutilizables, capaz de mantener de manera autónoma un vuelo controlado y sostenible, y que son propulsadas por un motor de explosión, eléctrico o de reacción.

Existen varios tipos de drones según su fisonomía: helicópteros (un rotor), multirrotor (varios rotores) o ala fija (planeadores). A todos ellos se le puede equipar con diferentes sensores según la función deseada: cámaras de fotografía, sensores multiespectrales o cámaras termográficas entre otros.

La normativa actual que regula el uso profesional de los drones es la Ley 18/2014 de 15 de octubre, aunque actualmente existe un borrador de Ley en fase de aprobación.

Con todo esto, y una vez estudiadas las necesidades específicas de la minería, las aplicaciones potenciales de los drones son:

- Prospección.
- Topografía.
- Control de operaciones.
- Inspección técnica.
- Prevención de riesgos laborales.
- Control medioambiental.
- Vigilancia.
- Promoción audiovisual.
- Servicios de emergencia y rescate.

De esta manera, se puede concluir que esta tecnología dron que se encuentra en pleno auge y desarrollo, es de gran utilidad y tiene múltiples aplicaciones en el ámbito de la minería. Es por ello que se cree que necesario difundir esta información a las empresas tanto mineras como operadoras de drones para fomentar el uso de los drones en este campo. Gracias a ello, obtendremos una minería mucho más precisa, eficiente y sostenible ambientalmente.

PROJECT SUMMARY

Drones are a current technology and in full development with multiple applications but, do we know all the possibilities that they offer in mining? This project aims to answer this question and highlight all potential applications.

Drones, also known as UAV (Unmanned Aerial Vehicle) are unmanned vehicles, reusable, capable of autonomously maintaining a controlled and sustainable flight, and which are powered by explosion, electric or reaction motor.

There are several types of drones according to their physiognomy: helicopters (one rotor), multi-rotor (several rotors) or fixed wing (gliders). All of them can be equipped with different sensors depending on the desired function: photography cameras, multispectral sensors or thermographic cameras among others.

The current regulation that regulates the professional use of drones is the Spanish Law 18/2014 of October 15, although there is currently a draft law in the approval phase.

With all this, and once studied the specific needs of the mining, the potential applications of the drones are:

- Prospecting.
- Topography.
- Control of operations.
- Technical inspection.
- Prevention of occupational hazards.
- Environmental monitoring.
- Surveillance.
- Audiovisual promotion.
- Emergency and rescue services.

In this way, it can be concluded that this technology that is in full boom and development, is very useful and has multiple applications in the field of mining. That is why it is believed necessary to disseminate this information to both mining companies and drone operators to encourage the use of drones in this field. With this fact, we will obtain much more precise mining, efficient and environmentally sustainable.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 10 |
| 3. ¿QUÉ ES UN DRON? | 12 |
| 3.1. TIPOS DE DRON | 13 |
| 3.2. PARTES DE UN DRON | 16 |
| 4. MARCO LEGAL | 23 |
| 4.1. NORMATIVA VIGENTE | 23 |
| 4.1.1. Resumen de la Ley 18/2014 de 15 de octubre de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficacia. | 24 |
| 4.2. NORMATIVA PRÓXIMA..... | 28 |
| 5. APLICACIONES HABITUALES DE LOS DRONES | 30 |
| 6. APLICACIONES POTENCIALES DE LOS DRONES EN MINERIA | 32 |
| 6.1. PROSPECCIÓN | 32 |
| 6.1.1. Prospección arqueológica..... | 38 |
| 6.2. TOPOGRAFÍA | 38 |
| 6.3. CONTROL DE OPERACIONES..... | 45 |
| 6.3.1. Control de stocks | 46 |
| 6.4. INSPECCIÓN TÉCNICA/MANTENIMIENTO | 46 |
| 6.5. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES | 48 |
| 6.6. CONTROL MEDIOAMBIENTAL..... | 49 |
| 6.7. VIGILANCIA. | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 6.8. PROMOCIÓN AUDIOVISUAL | 56 |
| 6.9. SERVICIOS DE EMERGENCIA Y RESCATE | 56 |
| 7. CÓMO ACCEDER AL USO DE UN DRON..... | 58 |
| 7.1. OBTENCIÓN DE UN DRON | 58 |
| 7.2. SUBCONTRATACIÓN DEL SERVICIO | 59 |
| 8. CONCLUSIÓN..... | 62 |
| 9. BIBLIOGRAFIA | 63 |

ANEXO 1. Ley 18/2014 de 15 de octubre de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficacia. Artículos 50 y 51.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los drones están auge. Muchas son las empresas de nueva creación que ofrecen diferentes servicios aéreos mediante dron, principalmente audiovisuales, pero ¿realmente conocemos todas sus posibilidades? Y lo que es más importante ¿sabemos realmente el potencial existente en el ámbito de la minería?

El presente proyecto pretende analizar los diferentes tipos de drones y sus posibilidades, para posteriormente hacer un análisis de las diferentes aplicaciones que podrían tener en el ámbito de la minería.

En el desarrollo de este proyecto veremos que no todos los drones tienen hélices ni sirven para las mismas aplicaciones y estudiaremos que modelo de dron es más adecuado para cada una de las aplicaciones.

También descubriremos que un dron no sólo sirve para obtener imágenes audiovisuales, si no que con la tecnología adecuada puede obtener una nube de puntos con coordenadas x,y,z que nos servirá para realizar topografía, cubicaciones, cálculos de reservas, etc. así y como equipado con diferentes sensores multiespectrales puede darnos información sobre la vegetación y en consecuencia, el avance de la restauración de nuestra explotación.

En conclusión, el presente proyecto pretende dar contestación al abanico de posibilidades de uso y aplicación que pueden tener los drones en el ámbito de la minería.

2. ANTECEDENTES

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) también conocidos como (UAV) (Unmanned aerial vehicle) por sus siglas en inglés, o como se les conoce hoy en día (Drones) no son algo nuevo. Sí es cierto que ahora son más populares y accesibles para los consumidores, pero un dron no limita su definición a los multirrotores o aviones militares no tripulados, un pequeño avión radiocontrolado de juguete también se puede considerar un dron ya que no es tripulado por una entidad.

La idea de usar “drones” es muy antigua, el 22 de Agosto de 1849, los austriacos pusieron en marcha alrededor de doscientos globos aerostáticos no tripulados armados con bombas sobre la ciudad de Venecia. Aunque para aquella época no se conocía el término “dron” ellos entendían las ventajas de usar aparatos voladores no tripulados para cumplir un objetivo. Los globos se podían controlar, pero si el tiempo que tardaría en detonar las bombas mediante un sistema con una batería galvánica con un hilo de cobre aislado. Los explosivos caían verticalmente tras desinflarse el globo y explotaban.

En el año 1917 el ingeniero inglés Archibald Low, demostró ser capaz de controlar un pequeño y novedoso prototipo de biplano guiado por radio. Aun así, las repetidas averías que sufría el motor hicieron que la real Fuerza Aérea británica perdiera interés en el tema, a pesar del innegable éxito desde el punto de vista de control automático.

Más adelante en la década de los 60, se utilizaron vehículos controlados por radio en la Guerra del Vietnam para sobrevolar la zona del enemigo. Los vehículos captaban imágenes trazando trayectorias circulares predefinidas. Fue en esta época cuando se popularizó la palabra *dron*, que en español significa *zángano*, macho de la abeja melera o algo repetitivo y monótono.

Ha sido a partir del año 2010 cuando las nuevas tecnologías en chips más pequeños y menos pesados, procesadores más rápidos, baterías más ligeras y de larga duración junto a las cámaras de alta definición a bajo coste lo que ha hecho realmente populares a los drones al público general.

El dron ha ido evolucionando y ha llegado al gran público que lo ha asimilado como un robot controlado con control remoto que dota de una gran autonomía y una gran gama de posibilidades de aplicación.

No obstante, el bajo coste de estos nuevos drones junto a la gran gama de aplicaciones y posibilidades que ofrecen han hecho aflorar un gran número de nuevas empresas que pretenden ofrecer sus servicios en este ámbito.

3. ¿QUÉ ES UN DRON?

También conocidos como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o comúnmente dron, son aeronaves que vuelan sin tripulación, reutilizables, capaz de mantener de manera autónoma un vuelo controlado y sostenible y que son propulsadas por un motor de explosión, eléctrico o de reacción.

Existen diferentes usos para los drones, aunque se pueden clasificar en dos grandes grupos: Los de uso militar y los de uso civil.



Figura 1. UAV versión 2 desarrollado por la Fuerza Aérea del Perú

Aunque los drones de uso militar se llevan usando desde hace casi 100 años, su uso civil no se ha popularizado hasta esta última década. Gracias a los avances en tecnología como procesadores más rápidos y baratos así y como baterías más ligeras, han conseguido hacer accesible a los drones como uso recreativo o aplicaciones de uso de bajo coste como el audiovisual.



Figura 2. Popular dron recreativo de la marca DJI.

3.1. Tipos de dron

Existen diferentes clasificaciones para los drones según su fisonomía, el tipo de control o su uso.

En lo referente a su fisonomía existen tres grandes grupos:

- **Multirrotores:** Son los más extendidos actualmente. Se compone de varios motores independientes situados en los extremos del aparato. Se suelen clasificar según el número de motores en tricópteros (3), cuadricópteros (4), hexacópteros (6) y octocópteros (8). Su uso es el más extendido debido a su gran estabilidad y la facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, además de poder volar estáticamente en el lugar que le indiquemos. Su desventaja es el gran consumo que necesita para mantener el vuelo y su autonomía que suele estar entre los 15 y los 30 minutos. Son ideales en el sector audiovisual y en la inspección industrial.



Figura 3. Dron tipo multirrotor hexacóptero.

- **Helicópteros:** Su fisonomía es la de un helicóptero convencional pero de pequeño tamaño. Está compuesto de un solo motor principal y ello le otorga de gran capacidad de carga y autonomía. Existen modelos de combustión interna que pueden volar durante 1 hora sin repostar. No obstante, su complejidad tanto a nivel mecánico como de control los ha hecho menos accesibles y son los menos utilizados. Ideales para fotogrametría, vigilancia o agricultura de precisión.



Figura 4. Dron tipo helicóptero.

- **Ala fija:** Son aquellos cuya fisonomía es similar a la de un aeroplano, compuesto con un cuerpo principal unido a dos alas que le permiten planear y un rotor en cola cuya propulsión puede ser eléctrica o de combustión. Sin duda es el más eficiente aerodinámicamente hablando y

el que mayor autonomía de vuelo tiene. Por otro lado, existe el inconveniente de que son los que menor carga pueden llevar, menos agilidad de maniobras ya que no puede permanecer inmóvil, y necesita una gran superficie para despegar o aterrizar. No obstante, su gran autonomía lo convierten en un candidato ideal para las labores de fotogrametría y agricultura de precisión.



Figura 5. Dron tipo ala fija.

También podemos clasificar a los drones según el método de control:

- **Autónomo:** El drone no necesita de un piloto humano que lo controle desde tierra. Se guía por sus propios sistemas y sensores integrados.
- **Monitorizado:** En este caso si se necesita la figura de un técnico humano. La labor de esta persona es proporcionar información y controlar el feedback del drone. El drone dirige su propio plan de vuelo y el técnico, a pesar de no poder controlar los mandos directamente, sí puede decidir que acción llevará a cabo. Este sistema es habitual en labores de agricultura de precisión y fotogrametría.
- **Supervisado:** Un operador pilota el dron, aunque este puede realizar algunas tareas autónomamente.
- **Preprogramado:** El dron sigue un plan de vuelo diseñado previamente y no tiene medios de cambiarlo para adaptarse a posibles cambios.

- **Controlado remotamente(R/C):** El drone es pilotado directamente por un técnico mediante una consola. Es habitual en labores de inspección o audiovisuales.

Por último, si clasificamos los drones según el uso pueden ser:

- **Drones militares:** Suelen ir armados y con capacidad de bombardeo, aunque otras veces son únicamente para espionaje.
- **Drones civiles:** Son aquellos que no tienen uso militar y a su vez se dividen en:
 - **Drones de uso comercial:** Para la venta de servicios como la fotogrametría, multimedia, etc.
 - **Drones para aficionados:** Para su uso como hobby.
 - **Drones de uso gubernamental:** Para las fuerzas del estado, bomberos, rescate, etc.

3.2. Partes de un dron

Antes de plantearse que aplicaciones pueden tener los drones en la minería, es fundamental conocer de qué partes se componen, ya que la modificación o correcta elección de alguna de ellas, como pueden ser los diferentes sensores de imagen, podrán ofrecernos un abanico de posibilidades que de otra manera desconoceríamos.

Marco.

Es el esqueleto principal del dron. Es la estructura donde se montan todas las demás. El objetivo del marco es ser lo más resistente posible a la misma vez que ligero. Los materiales más utilizados son el plástico, el aluminio y la fibra de carbono, aunque es este último el más utilizado debido a su gran resistencia con una gran ligereza.



Figura 6. Marco de un dron.

Motores, hélices y variadores: Son la parte encargada de mantener al dron en vuelo. Los variadores se encargan de la entrega de potencia a cada motor, los motores hacen girar a las hélices y éstas dirigen el movimiento del dron. A más velocidad, el dron asciende y a menos velocidad, desciende. La combinación de las diferentes hélices determina todos los movimientos del dron. Las hélices, al igual que el chasis, suele ser de fibra de carbono debido a su resistencia y gran ligereza.



Figura 7. Motor y hélice.

Controlador de vuelo: Es el “cerebro” del dron. Es donde todos los componentes van conectados y determina, según las ordenes indicadas, la señal que tiene que enviar a cada variador para que el dron realice el movimiento deseado. También se encarga de estabilizar constantemente el dron. Las compañías desarrollan controladores de vuelos cada día más potentes que aseguran una total estabilidad del aparato y de esta manera poder realizar operaciones cada vez más precisas.



Figura 8. Controlador de vuelo.

Radio receptor (antena): Es el responsable de recibir la señal de radio enviada desde el Control Remoto, el cual ha interpretado el movimiento realizado por el usuario y lo ha transformado en onda radial. La señal de radio es recibida por el Radio Receptor del dron y transformada en datos que se envían al Controlador de Vuelo para que ejecute la instrucción, normalmente con cambios coordinados en la velocidad de los motores.

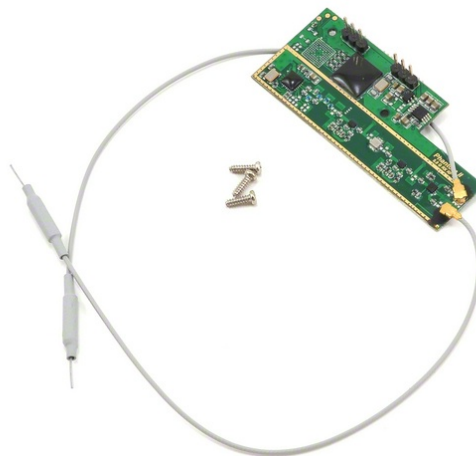


Figura 9. Radio receptor.

Batería: Es la encargada de proporcionar la energía necesaria a todo el equipo. Son muy pesadas, por lo que conviene utilizar baterías de buena calidad como las de Li-Po (polímero de litio) para aligerar su carga. Normalmente ofrecen al dron una autonomía entre 15-30 minutos, dependiendo el modelo. Aunque en una primera instancia pudiera parecer que al aumentar el número de baterías también

aumentamos la autonomía de vuelo, el peso de éstas hace que esto no sea posible.



Figura 10. Batería.

GPS y brújula: Se conectan al controlador de vuelo para darle a conocer la ubicación, altitud y velocidad exacta. A partir de esto, y dependiendo del programa que tenga el controlador, se podrá automatizar el vuelo del dron para mantenerse estático, o volar en cierta dirección o ruta predefinida. También sirven para georreferenciar las fotografías y poder posicionarlas a la hora de realizar una fotogrametría.



Figura 11. GPS para dron.

Estabilizador: En el chasis del dron se puede acoplar una cámara o cualquier otro tipo de sensor para capturar fotos, videos, imágenes infrarrojas, etc. desde el aire. Dependiendo del tamaño del dron el sensor podrá desde una pesada cámara profesional hasta una liviana cámara de acción, como una GoPro. Normalmente se utiliza un estabilizador o Gimbal para evitar que los movimientos propios del

vuelo del dron afecten las tomas. Estos gimbal absorben la vibración de los motores y corrigen automáticamente la inclinación de la cámara para que siempre esté en el mismo ángulo respecto al suelo. Algunos gimbal también pueden ser conectados al Controlador de Vuelo y a través del control remoto el usuario puede cambiar el ángulo de inclinación de la cámara mientras el dron está en el aire.



Figura 12. Estabilizador y cámara GoPro.

Cámaras / sensores: Según el uso que queramos darle a nuestro dron, montaremos en nuestro gumball un tipo de cámara o sensor. Los más frecuentes son:

- **Cámara fotográfica/video:** Para uso audiovisual y obtener imágenes fotográficas o de video. También se utilizan para fotogrametría.
- **Sensor multiespectral:** Sesor de, normalmente, cuatro bandas que captura la luz en el verde, el borde rojo y el infrarrojo cercano. Normalmente es usado en agricultura para obtener información sobre cómo las plantas absorben la luz solar y de esta manera conocer su estado de salud, hídrico, etc.
- **Cámara infrarroja:** Para captar imágenes en la oscuridad. Útil para trabajos de vigilancia y seguridad.
- **Cámara termográfica:** Nos permite conocer la temperatura del objeto que estamos observando. Utilizada para tareas de inspección industrial.



Figura 13. Sensor multiespectral.

FPV (First Person View): Consiste en un sistema de transmisión y recepción del video capturado por la cámara, en tiempo real. De esta manera el usuario u otro interesado puede ver lo que el dron está “viendo”. Comúnmente consiste en conectar la cámara a un transmisor de video pequeño montado en el dron y un receptor con una pequeña pantalla para que el usuario la pueda cargar y ver mientras acciona el control remoto. Es de mucha utilidad para lograr vuelos de gran altura o distancia de forma segura, y para capturar las mejores tomas durante un vuelo.



Figura 14. Sistema FPV.

Emisora o equipo de tierra: Es el instrumental con el que controlamos automática o manualmente el dron. Suele constar por un lado de un sistema de emisora de radio para su control manual, y opcionalmente un ordenador portátil con el cual podemos programar la ruta que queremos que realice el dron. Actualmente los equipos para hobby también pueden ser programados con una tablet o incluso el móvil.



Figura 15. Emisora.

4. MARCO LEGAL

4.1. Normativa vigente

El 4 de Julio de 2014, viéndose que el mercado de los drones comenzaba a crecer exponencialmente y cada vez eran más las empresas que comenzaban a ofrecer estos servicios técnicos de una forma totalmente desregularizada, el Gobierno de España, aprobó el **Real Decreto-Ley 8/2014 de 4 de julio**, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, en cuya sección 6ª se recoge el régimen temporal para las operaciones con aeronaves pilotadas por control remoto, de peso inferior a los 150 kg al despegue, en el que se establecen las condiciones de explotación de estas aeronaves para la realización de trabajos técnicos y científicos.

Posteriormente, dicha normativa se tramitó como ley, proceso que culminó el 17 de octubre de 2014 con la publicación en el BOE de la **Ley 18/2014, de 15 de octubre**, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia.

Esta ley es altamente polémica ya que, según el punto de vista de los operadores de drones, es extremadamente exigente en cuanto a la documentación necesaria y el nivel de exigencia en el certificado médico del piloto, equiparable a un piloto de avión comercial.

Por otro lado, limita enormemente los usos que se le puede dar a los drones al no permitir volar ni de noche, ni en núcleos urbanos, ni en aglomeraciones de personas.

No obstante, esta ley se considera de carácter temporal ya que se otra ley se encuentra en fase de borrador para que responda a la necesidad de establecer un

marco jurídico que permita el desarrollo en condiciones de seguridad de un sector tecnológicamente puntero y emergente.

Además, la **Ley 18/2014, de 15 de octubre**, se completa con el régimen general de la **Ley 48/1960, de 21 de julio**, sobre Navegación Aérea.

Otra normativa a tener en cuenta a la hora de volar con un dron será en relación con el uso del **espectro radioeléctrico**, la **protección de datos** o la **toma de imágenes aéreas**.

A continuación se realiza un breve resumen sobre la Ley 18/2014 y se adjuntan los artículos 50 y 51 del BOE del 17 de octubre de 2014 donde se desarrolla la ley como Anexo 1 de este proyecto.

4.1.1. Resumen de la Ley 18/2014 de 15 de octubre de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficacia.

1. Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue exceda de 25 kg deben estar inscritas en el Registro de matrícula de aeronaves y disponer de certificado de aeronavegabilidad.
2. Todas las aeronaves civiles pilotadas por control remoto deberán llevar fijada a su estructura una placa de **identificación**.
3. Podrán realizarse actividades aéreas de trabajos técnicos o científicos por aeronaves civiles pilotadas por control remoto, de día y en condiciones meteorológicas visuales con sujeción a los siguientes requisitos:
 - a. Sólo podrán operar en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado, más allá del alcance visual del piloto, dentro del alcance de la emisión por radio

de la estación de control y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120 m, las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue **sea inferior a 2 kg**, siempre que cuenten con medios para poder conocer la posición de la aeronave y AESA emitirá un NOTAM (aviso aéreps) a las aeronaves que vayan a circular en los alrededores.

- b. Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue **no exceda de 25 kg**, sólo podrán operar en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado, **dentro del alcance visual del piloto, a una distancia de éste no mayor de 500 m** y a una altura sobre el terreno no mayor de 120 m.
- c. Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue **exceda de 25 kg y no sea superior a 150 kg** sólo podrán operar, con las condiciones y limitaciones establecidas en su certificado de aeronavegabilidad emitido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, en espacio aéreo no controlado.
- d. Además, las operaciones previstas en las letras precedentes requerirán:
 - 1.º Que el operador disponga de la documentación relativa a la caracterización de las aeronaves que vaya a utilizar.
 - 2.º Que se disponga de un Manual de operaciones.
 - 3.º Que haya realizado un estudio aeronáutico de seguridad de la operación.
 - 4.º Que se hayan realizado los vuelos de prueba que resulten necesarios para demostrar que la operación pretendida puede realizarse con seguridad.
 - 5.º Que se haya establecido un programa de mantenimiento de la aeronave.

6.º Que la aeronave esté pilotada por control remoto por pilotos que cumplan los requisitos establecidos en esta disposición.

7.º Se exigirá a los operadores de las aeronaves civiles pilotadas por control remoto, una póliza de seguro u otra garantía financiera que cubra la responsabilidad civil frente a terceros por daños.

8.º Que se hayan adoptado las medidas adecuadas para proteger a la aeronave de actos de interferencia.

9.º Que se hayan adoptado las medidas adicionales necesarias para garantizar la seguridad de la operación y para la protección de las personas y bienes subyacentes.

10.º Que la operación se realice a una distancia mínima de 8 km respecto de cualquier aeropuerto o aeródromo o, si la infraestructura cuenta con procedimientos de vuelo instrumental, a una distancia mínima de 15 km de su punto de referencia.

4. Los pilotos deberán acreditar los siguientes requisitos:

a) Ser titulares de cualquier licencia de piloto.

b) demostrar de forma fehaciente que disponen de los conocimientos teóricos necesarios para la obtención de cualquier licencia de piloto.

c) para las aeronaves de masa máxima al despegue **no superior a 25 kg**, disponer:

1.º Para volar dentro del alcance visual del piloto, de un **certificado básico** para el pilotaje de aeronaves civiles pilotadas por control remoto.

2.º Para volar más allá del alcance visual del piloto, de **certificado avanzado** para el pilotaje de aeronaves civiles pilotadas por control remoto

d) Además, en los supuestos previstos en las letras b) y c), deberán acreditar:

- 1.º Tener 18 años de edad cumplidos.
 - 2.º Los pilotos que operen aeronaves **de hasta 25 kilos** de masa máxima al despegue deberán ser titulares, como mínimo, de un certificado médico para la licencia de piloto de aeronave ligera (LAPL).
 - 3.º Los pilotos que operen aeronaves de una masa máxima al despegue **superior a 25 kilos** deberán ser titulares como mínimo de un certificado médico de Clase 2.
- e) Además, en todos los casos, deberán disponer de un documento que acredite que disponen de los conocimientos adecuados de la aeronave.
5. El ejercicio de las actividades previstas en los apartados 3 por aeronaves cuya masa máxima al despegue sea **igual o inferior a 25 kg**, estará sujeta a la comunicación a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea con una antelación mínima de cinco días al día del inicio de la operación. La comunicación previa deberá contener:
- a) Los datos identificativos del operador, de las aeronaves que vayan a utilizarse en la operación y de los pilotos.
 - b) La descripción de la caracterización de dichas aeronaves.
 - c) El tipo de trabajos técnicos o científicos que se vayan a desarrollar.
 - d) Las condiciones o limitaciones que se van a aplicar a la operación o vuelo para garantizar la seguridad.

Junto a la comunicación previa, el operador deberá presentar una declaración responsable en el que manifieste, bajo su responsabilidad, que cumple con cada uno de los requisitos exigibles conforme a lo previsto en este artículo

El ejercicio de las actividades previstas en los apartado 3 por aeronaves cuya masa máxima al despegue **exceda de 25 kg** estará sujeta a la previa autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, conforme a lo previsto en este apartado.

4.2. Normativa próxima

Desde el 27 de octubre de 2016 existe en la web del Ministerio de Fomento un borrador de Ley que modificará la actual Ley 18/14. No obstante, aunque siempre parece indicar que se aprobará en breve, este borrador lleva sin aprobarse cerca de un año.

Según puede deducirse de este borrador, aunque la regulación sigue siendo farragosa y estrica, si que hay un espíritu aperturista y se abren las posibilidades de usos antes restringidos.

A continuación se citan las principales novedades:

Volar en ciudades

Podrán realizarse operaciones sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o reuniones de personas al aire libre, por aeronaves cuya masa máxima al despegue **no exceda de 10 kg**, dentro del alcance visual del piloto (VLOS), a una distancia horizontal máxima del piloto de 100m, y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120m. Además de hay que limitar el paso de personas o vehículos o, en otro caso, manteniendo una distancia horizontal mínima de seguridad de 150 m respecto de edificios u otro tipo de estructuras y de 50 m respecto de cualquier persona.

Vuelos dentro del alcance visual aumentado

Para realizar operaciones a una distancia horizontal superior a 500m, se establecen las operaciones dentro del alcance visual aumentado (EVLOS) y la figura del observador. En estas operaciones el contacto visual directo con la aeronave se satisface utilizando medios alternativos, en particular, observadores en contacto permanente por radio con el piloto.

Vuelos fuera del alcance visual

Podrán realizar vuelos fuera del alcance visual (BVLOS) las aeronaves con un peso **inferior a 2 kg** o aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) que cuenten con sistemas, que permitan a su piloto detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo. También se podrán hacer vuelos BVLOS, con equipos que no dispongan de estos sistemas, en espacio aéreo segregado.

Volar de noche

La posibilidad de realizar vuelos nocturnos, hasta ahora prohibidos, con la autorización expresa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, previa solicitud del operador acompañada del estudio de seguridad.

Volar en espacio aéreo controlado

También se abre la posibilidad de volar en espacios aéreos controlados, siempre a una distancia superior a 8 km de cualquier aeropuerto o aeródromo, así como el acceso a espacio aéreo controlado o a una zona de información de vuelo (FIZ). Además, estas operaciones requerirán de un estudio de seguridad y de un radiofonista acreditado.

5. APLICACIONES HABITUALES DE LOS DRONES

A la hora de realizar un análisis de los posibles usos de los drones en la minería, es primordial conocer los usos actuales más comunes que se les dan a estos. De esta manera, conociendo todo el abanico de posibilidades actual, podremos encontrar con mayor facilidad símiles en el entorno de la minería.

Servicios de emergencia.

- Monitorización en directo de las zonas afectadas e inaccesibles por otros medios.
- Reparto de material de emergencia (medicamentos, equipo médico, etc.)
- Evaluación de daños.
- Búsqueda y rescate.

Servicios de seguridad.

- Investigación de escenas de crímenes.
- Seguimiento de delincuentes.
- Coordinación policial.
- Vigilancia de seguridad.
- Entrenamiento.

Agricultura, silvicultura, etc.

- Monitorización de químicos (pesticidas, herbicidas, etc.)
- Detección de inundaciones, incendios, etc.
- Inventario.
- Detección de plagas.
- Agricultura de precisión.

Control ambiental.

- Evaluación de peligros ambientales.

- Evaluación de impactos ambientales.
- Detección de especies invasivas.
- Investigación científica.
- Monitoreo de la vida salvaje.

Planeamiento urbano, arquitectura e ingeniería.

- Gestión de los proyectos.
- Diseño ambiental.
- Fotogrametría (Topografía, arqueología, etc.)
- Marketing y promoción.
- Planeamiento y diseño urbano.

Servicios audiovisuales.

- Publicidad y marketing.
- Arte.
- Entretenimiento.
- Periodismo de investigación.
- Seguimiento de noticias.

Negocios y comercio.

- Aerotecnología, robótica, desarrollo, etc.
- Documentación (partes de accidente, peritajes, etc)
- Exploración (Agua, aceite, gas, mineral, etc).
- Insepcciones de infraestructuras.
- Servicios de mensajería.

Uso recreativo.

- Activiades en grupo y eventos.
- Hobby.
- Fotografía/video personal.
- Vuelo pro control remoto.

6. APLICACIONES POTENCIALES DE LOS DRONES EN MINERÍA

Una vez que hemos conocido lo que es un dron, los diferentes tipos de dron que existen en el mercado, las partes y sensores que los componen así y como la normativa actual y futura, podemos realizar un análisis de las necesidades de la minería y las aplicaciones potenciales que pueden prestar los drones a su servicio.

Para ello, haremos uso de la experiencia en el sector tanto de la minería como de los drones, e intentaremos desarrollar algunos de los usos habituales de los drones en la actualidad y adaptarlos a la minería.

También desarrollaremos nuevas aplicaciones creadas a partir de las necesidades específicas del sector de la minería.

Cabe destacar que, en la mayoría de los casos, hablaremos de minería de exterior ya que es allí donde los drones pueden desarrollar todo su potencial. No obstante, los drones actuales se encuentran provistos de sensores de distancia que les permiten desplazarse por galerías sin correr peligro a chocarse, lo cual será muy interesante para algunos usos concretos en interior.

6.1. Prospección

No es casualidad que en primer orden se encuentre la prospección, ya que es el primer contacto con el recurso minero mucho antes de tan siquiera existir la mina.

Por definición, la prospección es la exploración de un terreno para descubrir la existencia de yacimientos geológicos, minerales, agua, o cualquier otro recurso natural.

Por lo tanto, en este apartado, trataremos la detección y estudio tanto de recursos minerales como hidrológicos o geológicos.

Teledetección

Ya desde 1972 cuando se lanzó el programa Landsat, el mayor programa de capturas de la tierra desde el espacio, empezó a utilizarse las imágenes de satélite para la prospección geológica.

Gracias a los sensores multiespectrales de los que los satélites están provistos y las imágenes multi-espectrales que se obtienen a través de ellos, les permiten a los investigadores recolectar datos de reflexión y propiedades de absorción de suelos, rocas y vegetación. Estos datos pueden ser utilizados por geólogos o expertos en la interpretación de litologías de superficies e identificación de arcillas, óxidos, sales u otros muchos tipos de suelo.

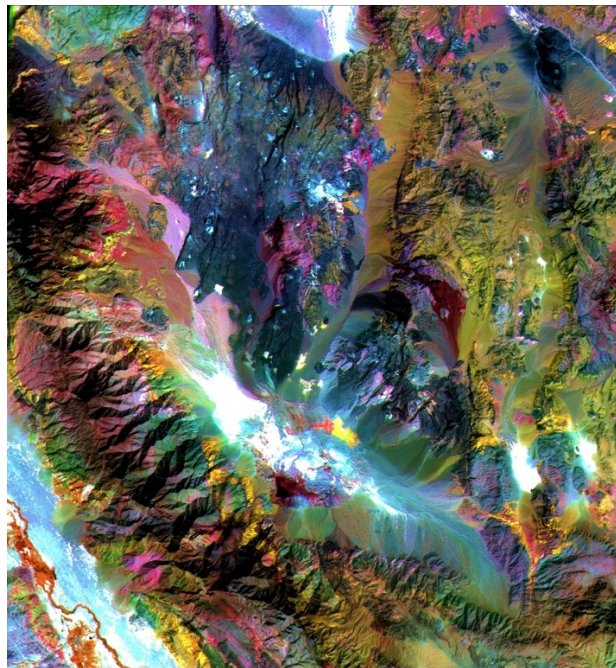


Figura 16. Imagen del satélite ASTER del Valle salino de California. Muestra bandas infrarrojas térmicas 13, 12 y 10 como RVA. En esta región de longitud de onda, variaciones en contenido de cuarzo aparecen como más o menos rojas; las rocas carbonatas son verdes, y las rocas volcánicas ricas en magnesio y hierro son moradas.

Esta técnica también se ha ido perfeccionando con el paso del tiempo y también se realiza a mayor resolución en avionetas equipadas con sensores multispectrales.

Esta misma técnica utilizada desde satélite o avioneta también puede ser realizada desde dron siempre y cuando le equipemos los sensores de las longitudes de banda que necesitemos. Además, gracias a la georeferenciación automática de las imágenes a través del GPS que el dron lleva incorporado, el software de edición realiza de manera automática el montaje del mapa.

A día de hoy los sensores multispectrales que se encuentran disponibles para dron, trabajan con las bandas adecuadas para el estudio de la agricultura, con lo que actualmente no es posible aprovechar al máximo las capacidades técnicas que los drones nos ofrecen para realizar una prospección minera. No obstante, es importante conocer que los drones nos permiten trabajar mucho más en detalle las áreas de interés y obtener mucha mayor resolución por píxel que las imágenes de satélite o avioneta.

Por otro lado, además de los sensores multispectrales existen métodos geofísicos que también se puede realizar de manera aérea como son:

Magnetometría aérea

El campo magnético de la tierra puede ser alterado por la presencia de materiales magnetizables que se encuentren en las cercanías de la superficie del subsuelo, destacándose la magnetita, que normalmente está asociada a yacimientos de hierro.

Las medidas del campo magnético es el método geofísico más empleado y el más económico. Estas prospecciones se pueden realizar en forma terrestre o aérea. De esta manera, si incorporamos un magnetómetro a nuestro dron, podremos realizar trabajos de prospección magnetométricos.

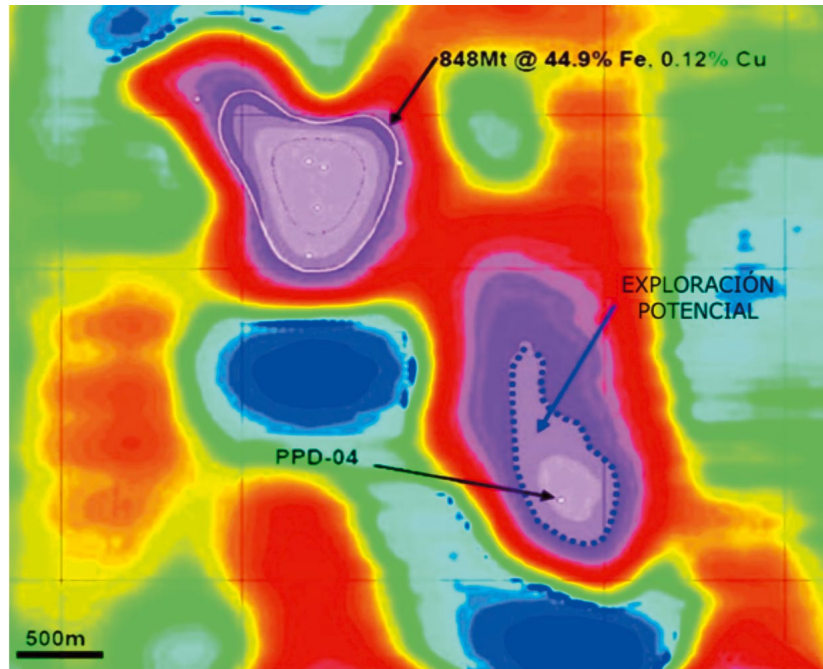


Figura 17. Mapa magnetométrico en un yacimiento metálico.

Actualmente se comienzan a realizar pruebas con los primeros drones con sensores magnetométricos.

Gravimetría aérea

El método gravimétrico consiste en la realización de medidas de alta precisión de los cambios de los valores de la gravedad, que son motivadas por las diferencias de la densidad de los materiales de la corteza terrestre.

Las diferencias de densidad pueden ser empleadas para la localización de las rocas siguientes:

- Rocas sólidas o duras y rocas sueltas o blandas.
- Rocas ácidas, básicas y ultrabásicas.
- Rocas densas y porosas.
- Rocas anhidras y saturadas.
- Minerales, etc.

En proyectos de ingeniería minera y medioambientales, suelen tener un amplio campo de aplicación, en dentro de los cuales destacan:

- Cartografía de cavidades cársticas bajo la superficie.
- Cartografía de basamentos rocosos.
- Cartografía de regiones con potencial de amplificación de tensiones (por ejemplo, irregularidades en zonas de fallas).
- Cartografía de regiones con potencial de debilidad (por ejemplo, paleo-grietas, fallas, etc.).
- Cartografía de rellenos.
- Determinación de la densidad (saturación de agua, porosidad) de las características topográficas.
-

Estas investigaciones solo son posibles cuando las variaciones de la masa (densidad) y los volúmenes de anomalías son lo suficientemente grandes como para producir la medición de campos anómalos. Sin embargo, las variaciones de la densidad en las zonas de interés tienden a ser menores y confinadas a volúmenes limitados, por lo que las anomalías gravitacionales resultantes son pequeñas comparadas con los componentes externos (ruidos) producidos por fuentes no geológicas.

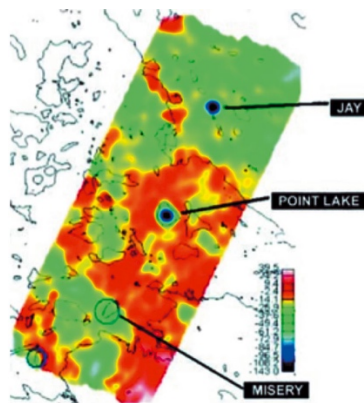


Figura 18. Imagen resultante de la campaña geofísica de un yacimiento de kimberlitas mediante gravimetría aérea.

Electromagnetismo

Entre los métodos electromanéticos más utilizados de forma aerotransportados tenemos el método de las dos bobinas en el que se genera un campo electromagnético (EM) primario que induce la zona de estudio.

En el caso de hallarse en el subsuelo un cuerpo con buena conductividad, se producirá un campo EM secundario, que será registrado en la bobina receptora.

Los equipos que se emplean requieren una fuente de energía capaz de generar pulsos de corriente de 4 milisegundos con unas intensidades de hasta 1.000 Amperios. Esto supone que los sistemas actuales tengan un peso, por ejemplo para una bobina de 24 m de diámetro de **250 a 350 kg.** por lo tanto, aunque este método es de gran utilidad en la prospección minera, no parece posible de momento poder aplicarlo mediante dron.

Radiometría aérea

Con esta técnica se registran los rayos Alfa, Beta y Gamma procedentes de la semidesintegración de elementos radioactivos incluidos en las formaciones geológicas como son el uranio, el torio y el potasio.

Se conoce que se comienzan a realizar pruebas con los primeros prototipos de dron con esta tipología de sensor.

Para realizar cualquier trabajo de prospección de los anteriores citados, puede utilizarse cualquier tipología de dron, desde el helicóptero, el multirrotor o el ala fija.

No obstante, y teniendo en cuenta que a la hora de realizar una prospección las superficies son de varias hectáreas, es aconsejable usar equipos de gran autonomía como son los ala fija. Por otro lado, es posible que el peso de los equipos de geofísica no lo permitiera y debieramos entonces utilizar un dron tipo multirrotor.

6.1.1. Prospección arqueológica

Es importante destacar de manera independiente que los métodos descritos en el punto anterior son igualmente aplicables a la prospección de yacimientos arqueológicos.

Actualmente, el patrimonio arqueológico es de vital importancia, y es habitual que a la hora de solicitar un permiso minero, se exija primero identificar y catalogar el patrimonio arqueológico en la zona.

Normalmente se realiza con una prospección de campo, donde el arqueólogo realiza una exploración visual e identifica los yacimientos que detecta. No obstante, en grandes superficies como suelen ser las investigaciones mineras, es fácil no detectar algún yacimiento.

Con el método de teledetección mediante dron descrito anteriormente, se podría realizar una prospección arqueológica de gran definición y de una manera rápida y eficaz.

6.2. Topografía

Esta es, sin lugar a duda, la aplicación más conocida de los drones en el mundo de la obra civil y la principal aplicación que se le está dando actualmente en minería, aunque por desgracia su uso no es muy extendido. A través de técnicas fotogramétricas podemos obtener un modelo 3D de gran precisión de la zona de estudio.

La fotogrametría es una técnica que consiste en la superposición de imágenes, normalmente aéreas, que gracias a la diferencia de perspectiva entre ellas permite determinar las coordenadas x,y,z relativas entre diferentes puntos.

Cuando las imágenes utilizadas se encuentran además georreferenciadas, podemos obtener coordenadas absolutas y un modelo del terreno 3D.

Esta técnica se ha ido perfeccionando desde su invención en 1850 y a día de hoy, ya sea mediante vuelo aéreo de avioneta o dron, se pueden obtener nubes de puntos con la densidad que deseemos y de gran precisión.



Figura 19. Ejemplo de dron ala fija utilizado para fotogrametría.

El procedimiento habitual para obtener un modelo digital del terreno mediante dron es el siguiente:

1. En primer lugar, hemos de definir y acotar sobre plano la zona en la que queremos realizar el levantamiento. En la mayoría de casos y softwares, con una polilínea cerrada y acotada en coordenadas absolutas será suficiente.
2. Deberemos realizar un plan de vuelo con el software propio del equipo en un ordenador. Bien es cierto que se podría realizar el vuelo mediante pilotaje manual, pero el piloto ha de tener un gran conocimiento en la materia y conocer cuánto han de solaparse las imágenes entre sí y la velocidad adecuada del vuelo y la altura de vuelo para obtener las suficientes fotografías y resolución deseada. Aún así es una técnica demasiado complicada y los drones diseñados a tal efecto vienen acompañados de su propio software para el cálculo. Para realizar el plan

de vuelo, introduciremos la polilínea anteriormente generada (aunque en algunos softwares no es necesario ya que directamente puedes acotar el perímetro en él) y le informaremos al sistema de qué resolución queremos obtener o la altura de vuelo deseada. El software deberá conocer todos los datos de la cámara fotográfica utilizada así y como de la lente para realizar las correcciones necesarias. Una vez introducido los datos, el programa generará un plan de vuelo que consistirá en una ruta a realizar por el dron, a una altura determinada, a una velocidad calculada y realizando las fotos necesarias para cubrir todo el área y tener el solape necesario para la fotogrametría.



Figura 20. Plan de vuelo realizado por un software de fotogrametría para dron.

3. Antes de realizar el vuelo, colocaremos unas dianas en el suelo, normalmente una lona blanca con una X en el centro negra, y georreferenciaremos estas dianas mediante topografía convencional. Un método que se suele utilizar es el de GPS, ya que aunque la precisión no es muy alta, tampoco es necesaria en la tipología de trabajos que se realizan con dron y sí que es un método muy rápido y eficaz. Este punto no es del todo necesario si únicamente queremos trabajar en coordenadas relativas y no buscamos una georreferenciación precisa. Si esto es así, el software georreferenciará de manera aproximada la nube de puntos gracias al gps interno del aparato.

4. Una vez tenemos el plan de vuelo, y las dianas georrefrenciadas, iniciaremos el vuelo automático del dron cumpliendo toda la normativa vigente descrita en el punto número 4.
5. Una vez terminado el vuelo, la información que obtendremos serán cientos de archivos de imágenes de alta resolución y que se solapan entre ellas, y sus respectivos archivos de texto con información sobre las coordenadas GPS del dron en la que se ha hecho esta fotografía, la altura de vuelo, la orientación, la fecha, el orden de realización, etc.

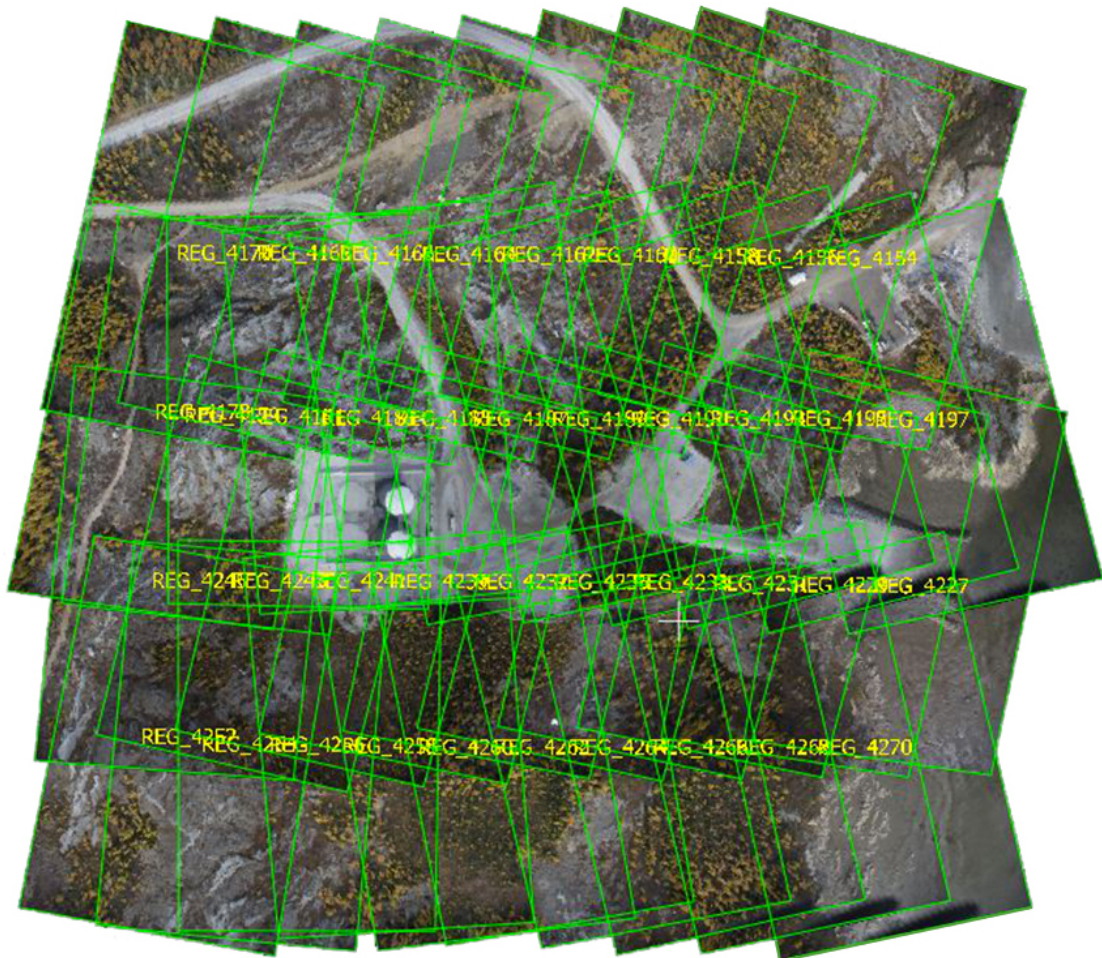


Figura 21. Ejemplo de imágenes obtenidas tras un vuelo de fotogrametría con dron.

6. El siguiente trabajo a realizar será en despacho. Una vez obtenidas todas las imágenes y sus archivos de texto correspondientes utilizaremos el software de fotogrametría. Los más utilizados a día de hoy son el “Photoscan” o el “Pix4D”, aunque existen muchos otros en el mercado y algunos drones tienen su propio software. En este software, introduciremos

tanto las fotografías como sus archivos de información, creando en un inicio una “fotografía” de gran tamaño en la cual verificaremos que todo está correcto y podremos dar coordenadas absolutas a las dianas que anteriormente habíamos colocado sobre terreno y de las cuales sus coordenadas son conocidas. Automáticamente el software generará una nube de puntos lo densa que queramos e incluso podrá otorgar a cada punto de coordenadas x, y z y del color correspondiente al píxel de la imagen en esa posición.

7. A partir de esa nube de puntos, podemos trabajar para obtener el resultado que necesitamos. Desde un modelo 3D del terreno con imagen real, un mapa de elevaciones, un MDT, un curvado, o simplemente una nube de puntos para exportar a programas vectoriales como Autocad.

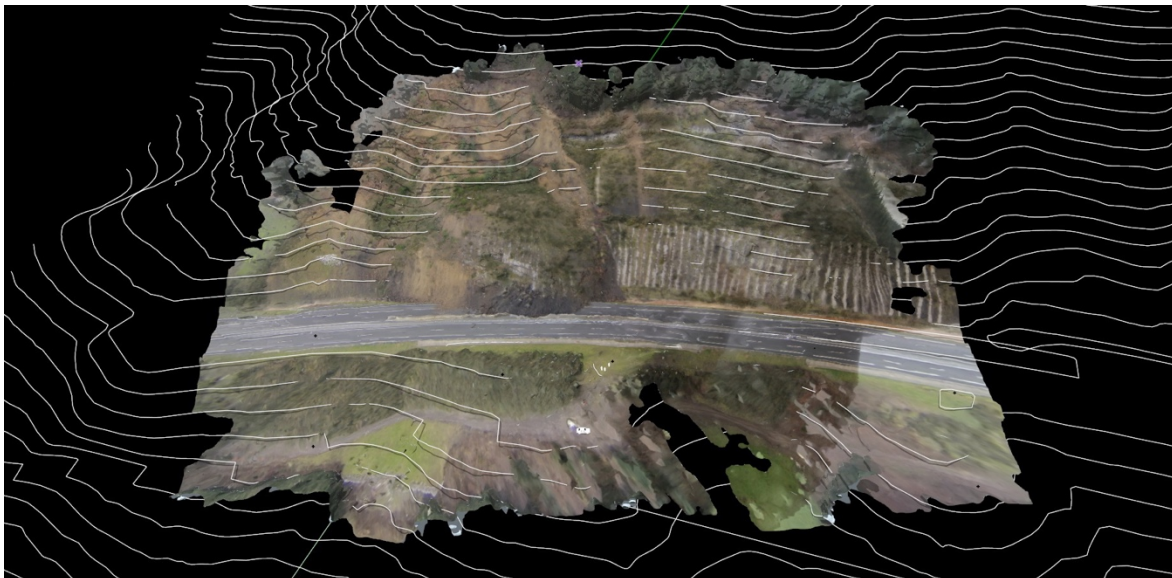


Figura 22. Ejemplo de resultado obtenido mediante el software. En este caso un modelo 3D del emplazamiento y curvas de nivel.

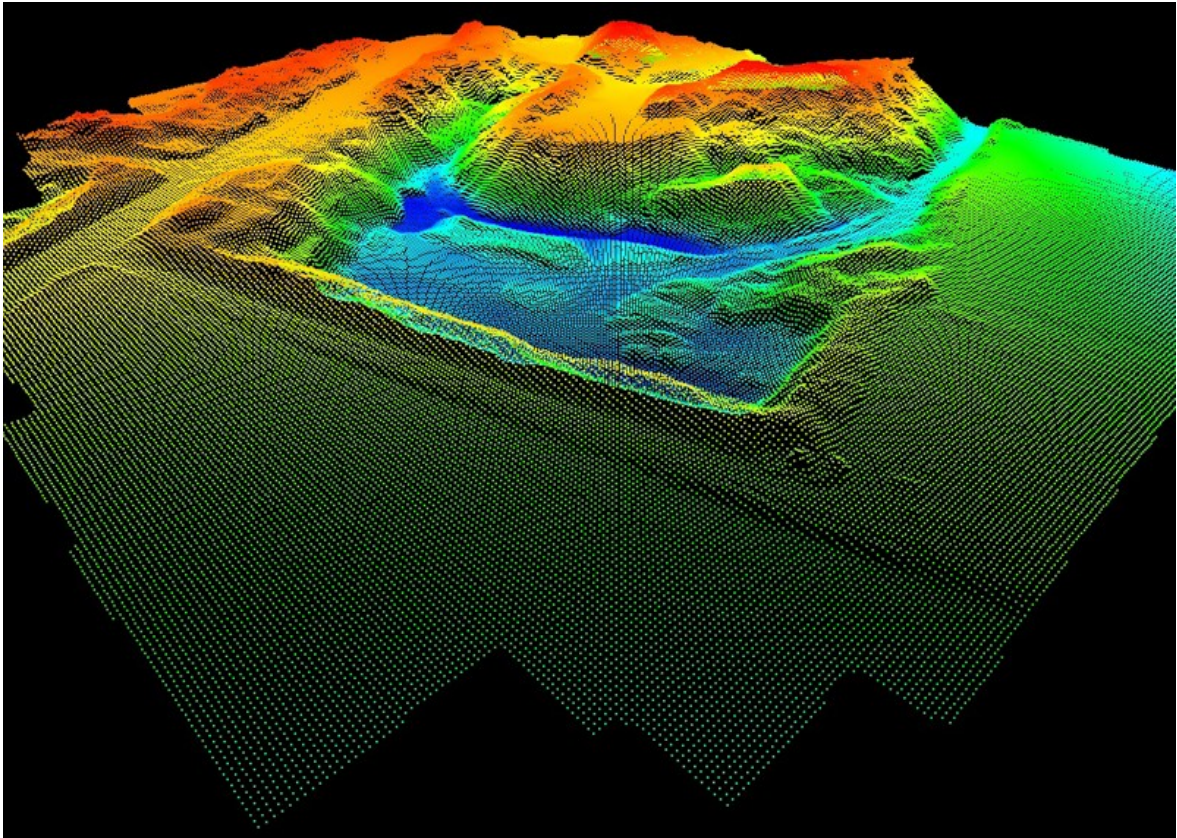


Figura 23. Ejemplo de resultado obtenido mediante el software. Nube de puntos coloreados según cota.

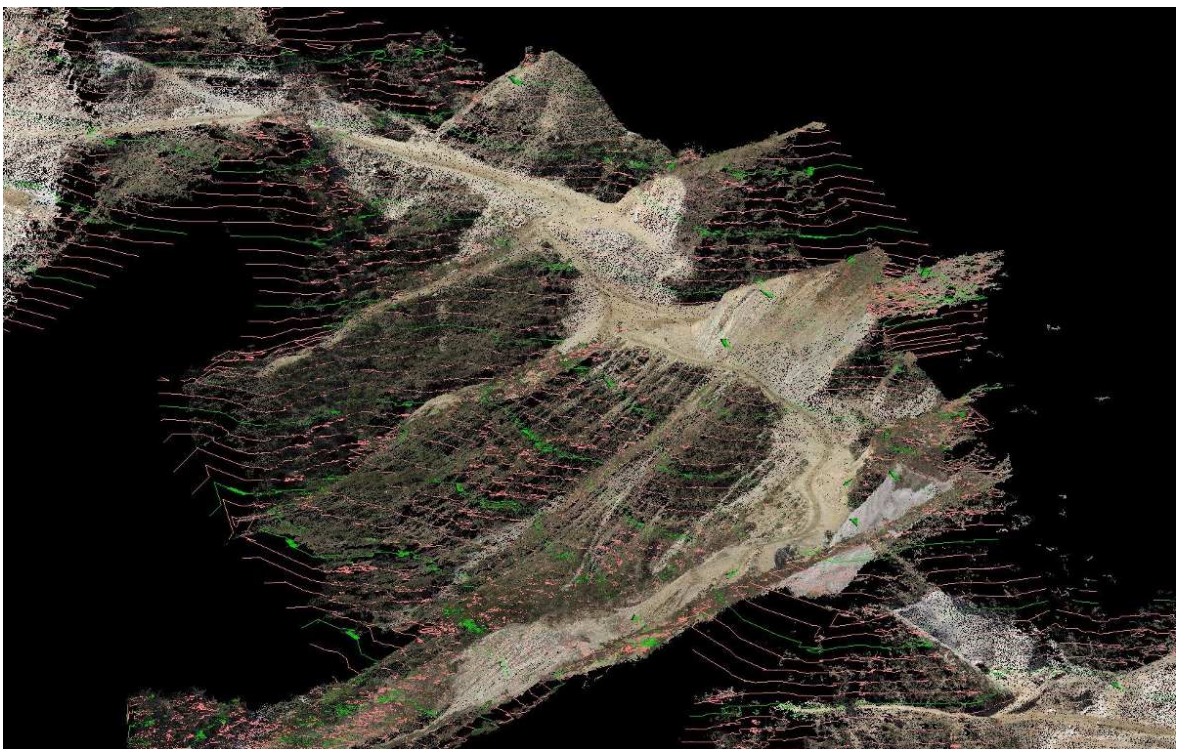


Figura 24. Ejemplo de resultado obtenido mediante el software: Nube de puntos coloreados según color real de píxel y curvado.

Gracias a la fotogrametría y el uso topográfico que con los drones se puede realizar, las aplicaciones inmediatas para la minería serían:

- Topografía inicial y de reconocimiento de los terrenos en fase de investigación.
- Cálculo de reservas.
- Modelado 3D para el diseño tanto de explotación como de restauración de la mina.
- Cálculo de movimientos de tierras, tanto a futuro como en tiempo real.
- Cubicación de acopios y reservas en tiempo real.
- Confección de planes de labores.
- Cálculo de pendientes.
- Conocimiento hidrológico y zonas inundables.

Para la fotogrametría se puede utilizar cualquier tipología de dron, aunque el idóneo por rendimiento por rendimiento y autonomía sería en ala fija. No obstante, un multirrotor también serviría para desarrollar el trabajo correctamente y sería más polivalente a la hora de realizar otros trabajos que requieran mayor maniobrabilidad en la mina.

La precisión a la hora de realizar la topografía mediante fotogrametría con dron suele encontrarse entre 1 y 5 cm cuando se habla de coordenadas relativas, aunque este valor puede oscilar entre 15 y 30 cm a la hora de transformarlo en coordenadas absolutas. No obstante, dada la tipología de los trabajos a topografiar, esta precisión es totalmente aceptable.

6.3. Control de operaciones

Los drones nos ofrecen la posibilidad de tener un punto de vista diferente al que estamos acostumbrados.

Normalmente, el director facultativo ve las operaciones de una en una y no como un todo, con lo cual pierden la concepción del conjunto en sí y del funcionamiento general de la mina.

Los drones nos permiten obtener una visión global mucho más amplia: Podemos ver por ejemplo como mientras un dúmper se va al frente a cargar, una excavadora se prepara pero otra en punto opuesto de la mina se queda sin producir porque su dúmper hace un recorrido demasiado largo para descargar en planta. También podemos observar la distribución de acopios y si su situación es rendible para su carga y transporte.

Este nuevo punto de vista que puede ser grabado o en directo, le ofrecerá al director facultativo la posibilidad de perfeccionar la coordinación entre equipos en la mina y/o planta.

Para ello, no se requiere de grandes equipos. Con un dron multirrotor en una estación de recarga que pudiera sobrevolar la mina cada vez que el director facultativo lo deseara, sería suficiente. Además, no se requeriría de sensores especiales, con lo cual el coste del aparato sería bajo.



Figura 25. Imagen del conjunto de una mina desde un dron.

6.3.1. Control de stocks

De igual manera que un punto de vista general de la mina puede ofrecer información valiosa de una manera rápida e intuitiva, también nos ofrecerá información rápida y en directo de los acopios existentes.

Con un solo vistazo, el director facultativo podrá observar si alguno de los acopios se agota demasiado rápido, o por el contrario el acopio de algún material se acumula y es necesario purgar.

6.4. Inspección técnica/mantenimiento

Uno de los usos más habituales de los drones en la industria es la inspección técnica.

Un dron tipo multirrotor nos permite acercarnos todo lo que queramos a cualquier punto de las instalaciones que de otra manera nos parecería totalmente inaccesible.

De esta manera, y gracias a encontrarse equipado con una cámara de alta definición, podremos observar el estado de las instalaciones, la salud de los materiales, conocer si es necesario reparar o sustituir alguna pieza, o por el contrario todo se encuentra en orden.



Figura 26. Inspección técnica de un puente mediante dron.

También puede equiparse el dron con una cámara termografía para obtener mapas de calor y de esta manera observar si la planta de tratamiento funciona de manera correcta o, por lo contrario, existen zonas que se sobrecalientan.



Figura 27. Inspección técnica con cámara termografica mediante dron de una torre eléctrica de alta tensión.

Como conclusión, la utilización de drones para la inspección técnica en minería, sobre todo en las plantas de tratamiento de mineral y otras instalaciones, se cree de gran utilidad y la inversión necesaria para ello sería de bajo coste.

6.5. Prevención de riesgos laborales

Las minas son uno de los lugares de trabajo, sin ningún género de dudas, más peligrosos conocidos por el hombre. La Federación Internacional de Trabajadores de Química, Energía, Minas e Industria estima que 12.000 mineros fallecen cada año en todo el mundo, la mitad en China.

Desde mi punto de vista existe todavía un margen importante para reducir los riesgos, sobre todo de accidentes relacionados por desprendimientos, caídas, toxicidad, que un dron puede ayudarnos a minimizar.

En cuanto a lo que prevenir riesgos se refiere, un dron podría:

- Detectar fallas, fisuras o diaclasas en los frentes de explotación que de otra manera serían inaccesibles y de esta manera evitar la caída de bloques y el consecuente riesgo asociado que ello conlleva.
- Detección de zonas inseguras al poder observar la mina desde un punto de vista global y más amplio.
- Detectar maniobras inseguras por los vehículos que de otra manera no detectaríamos.
- Dar apoyo de visibilidad en labores en las que fuera necesario.
- Minimizar la exposición a peligros de los trabajos a lugares donde pueda acceder el dron. Por ejemplo trabajos de inspección técnica en alturas.
- Detección de toxicidad en el ambiente ya sea por gases, radioactividad, etc. gracias a la instalación de sensores habilitados para ello y a anteponer la exposición del dron antes que la de los trabajadores. Con un dron preparado con sensores de proximidad también se podría realizar en minería de interior.
- Detección de puntos en proceso de combustión, por ejemplo acopios de carbón, al realizar una inspección con cámara termográfica. De esta manera pueden evitarse incendios en la mina.

Tal y como se puede observar, la presencia de un dron en la mina minimiza considerablemente los riesgos a un coste relativamente bajo.

6.6. Control medioambiental

El control medioambiental de una explotación minera es a día de hoy uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, tanto a nivel ético de la empresa como legal, ya que la normativa actual obliga a realizar un seguimiento de los impactos producidos por la actividad, así y como de la restauración integrada de esta.

Es por ello que, a continuación, se hará listado de los diferentes vectores ambientales a controlar en una actividad, ya sea durante su explotación o durante su restauración, y como los drones pueden ayudarnos a llevar a cabo estos trabajos.

Vector geotécnico

La estabilidad geotécnica tanto de los terrenos en explotación como de los restaurados es fundamental para garantizar una correcta integración ambiental así y como evitar los peligros asociados al desprendimiento de rocas o tierras.

Por ello, y gracias al uso de drones, podremos realizar por un lado, un seguimiento de los taludes en explotación para realizar un control de diaclasas o fracturas que puedan llevar a desprendimientos de rocas y situaciones inseguras, así y como también llevar un control topográfico a tiempo real de los taludes restaurados que, gracias a la obtención de un modelo de pendientes podremos advertir de taludes inestables.



Figura 28. Inspección de frente de explotación mediante dron.

Vector hidrológico

El correcto drenaje de las aguas es fundamental tanto en la explotación como en los terrenos restaurados.

Gracias a la capacidad de los drones de poder realizar de manera ágil y sencilla un mapa de pendientes en tiempo real, podremos conocer en todo momento el cauce más probable de las aguas en caso de lluvias y corregirlo si fuera necesario.

Vector morfológico

Cuando restauramos una explotación minera, se busca una morfología final concreta, normalmente aprobada en el Programa de Restauración. Gracias a la posibilidad de poder obtener datos topográficos constantemente a través de un dron, podremos ir conociendo la evolución morfológica de la restauración e ir realizando las modificaciones necesarias a tiempo real hasta la consecución de la topografía final deseada.

Vector vegetal/paisajístico

La evolución de la flora y en consecuencia, el valor paisajístico que se obtiene en la restauración, es vital para el correcto mantenimiento del suelo, la estabilidad, y la instauración de la fauna.

Gracias al desarrollo continuo que se ha realizado en los drones para la agricultura de precisión, podemos aprovecharnos de ese conocimiento para aplicarlo a nuestra restauración y obtener datos de calidad sobre ella, por ejemplo:

- Detectar zonas más o menos pobladas.
- Conocer el vigor y la salud de la vegetación, y de esta manera detectar carencias de fertilizantes o agua.
- Detección de plagas.
- Detección de plantas indeseables como las especies invasoras.

El procedimiento para conocer estos datos, es similar al procedimiento para obtener un plano topográfico.

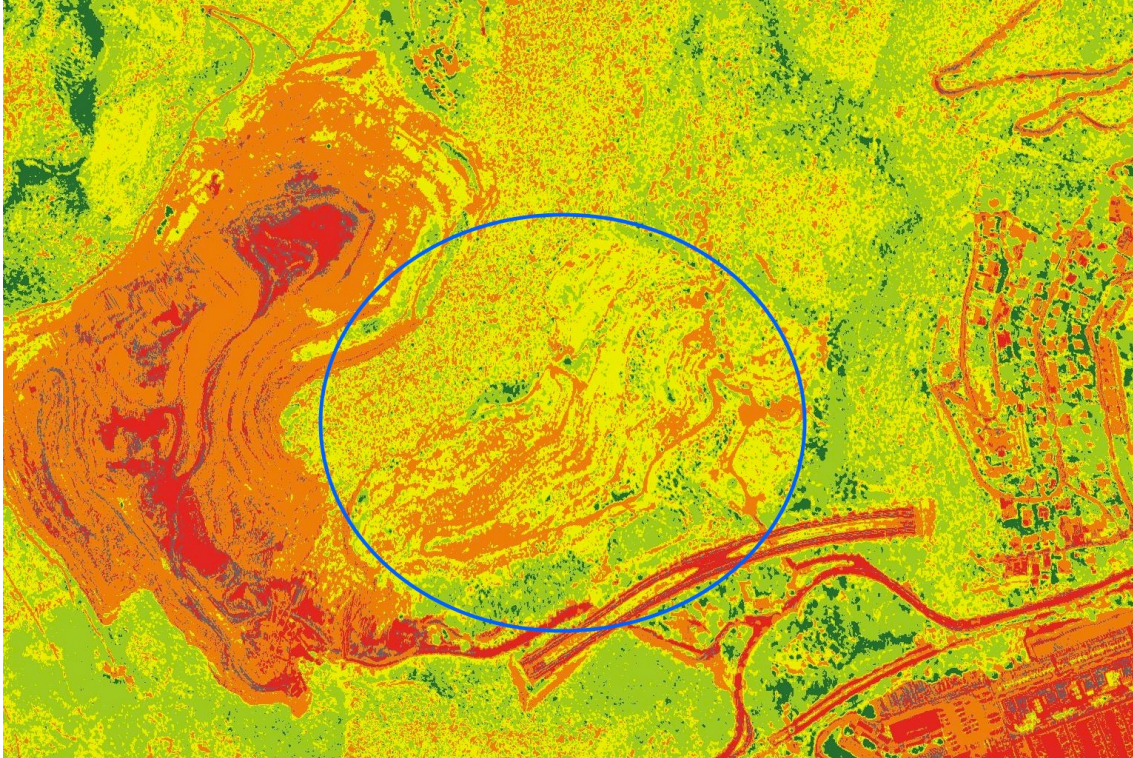
Primero habremos de escoger un dron, ya sea ala fija o multirrotor, que se encuentre equipado con una cámara multiespectral. Normalmente, para el estudio de la vegetación, se utilizan los canales verde, rojo, rojo cercano e infrarrojo. Por suerte, el mercado de la agricultura de precisión goza de salud y existen diversos sensores de esta tipología especialmente diseñados para dron a partir de unos 3.000 €.



Figura 29. Sensor multiespectral para dron.

A través del software para ordenador del dron, programaremos el plan de vuelo. El dron realizará el vuelo de manera autónoma y realizará cientos de imágenes georrefenciadas con la información obtenida de cada canal del sensor.

El software del sensor/dron unirá todas las imágenes en una de sola que nos permitirá ir combinando canales a nuestra necesidad para obtener los datos que necesitemos. Habitualmente en el campo de la agricultura es común combinar las bandas del rojo y el infrarrojo cercano para obtener el NDVI que nos ofrece información sobre el vigor de la vegetación.



En rojo: Agua, cubiertas artificiales, etc.

En naranja: Suelo sin vegetación.

En Amarillo: Vegetación dispersa o poco vigorosa.

En Verde: Vegetación abundante o vigorosa.

En Verde Oscuro: Vegetación muy densa o muy vigorosa.

Figura 30. Imagen que muestra el NDVI de una cantera restaurada (circulo azul) frente a una cantera en activo (izquierda rojo/naranja). Este ejemplo es un caso real propio del autor de este proyecto que se utilizó para el seguimiento de la restauración de dicha cantera. Aunque es una imagen de satélite, aplicado a los drones se obtendría el mismo resultado pero con mayor resolución.

Vector edafológico

Con los estudios previos que fueran necesarios, también sería posible caracterizar los diferentes suelos edáficos de nuestra restauración según su grado de madurez. De esta manera, y conociendo el perfil de refracción de este material, podríamos realizar un seguimiento en tiempo real de la maduración del suelo de la restauración.

Actualmente estos estudios se realizan con imágenes de satélite y serían fácilmente extrapolables al sector de los drones.

Vector fauna

Actualmente se conoce el uso de los drones para el seguimiento de especies en peligro de extinción, estudio de migraciones, etc.

Ya sea con cámaras de video convencionales, cámaras termográficas o cámaras infrarrojas, se podría realizar el seguimiento del establecimiento de la fauna en la restauración. Además, es sabido que los animales se sienten menos amenazados por los drones que por los humanos a ser un ente que desconocen y no asocian al peligro, con lo que se considera un medio interesante para observar a la fauna sin espantarla.

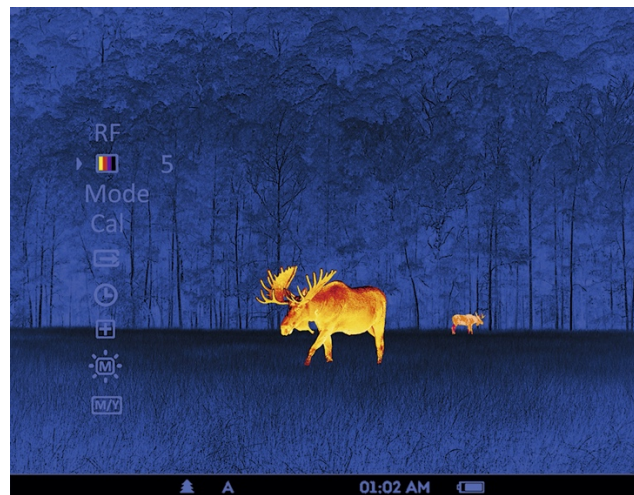


Figura 31. Ciervo visto desde una cámara termigráfica.

6.7. Vigilancia.

Las minas, al igual que cualquier instalación industrial, necesitan ser vigiladas para evitar la presencia de intrusos en sus instalaciones que pudieran sustraer maquinaria o cualquier otro material de valor.

No obstante, debido al gran tamaño que abarca la superficie de una mina, se hace extremadamente difícil poder controlar el acceso a esta.

Hasta ahora, el uso de drones con video vigilancia estaba muy extendido en control de fronteras, en la supervisión y protección de grandes espacios por parte de policía y fuerzas de seguridad y especialmente a nivel militar y en funciones de espionaje. Pero su uso, cada vez está más extendido en el ámbito privado, pues es la mejor solución de video vigilancia para la protección y vigilancia de grandes espacios, por su amplio campo de visión, por su velocidad y por su versatilidad.

La videovigilancia a través de drones está indicada para la protección y seguridad perimetral de grandes superficies. Es una solución fiable, eficaz y en alta resolución. Los drones están equipados con cámaras de seguridad de alta resolución o incluso cámaras de visión nocturna o termográficas. Las imágenes se transmiten en tiempo real de forma inalámbrica a un grabador de video vigilancia que garantiza la integridad de las imágenes y las valida como prueba judicial en caso de que se capte un delito.

Como sucede con las aspiradoras autónomas del hogar, el dron puede programarse para que despegue a las horas establecidas de manera que realice tareas de seguridad y reconocimiento del terreno de forma automática. También puede manejarse en remoto por un operador.

Los drones, además de equiparse con cámaras de vigilancia de alta resolución, disponen de visión nocturna (cámaras de vigilancia infrarrojas), cámaras termográficas, GPS (para programar sus vuelos) e incluso los más avanzados disponen de funciones de reconocimiento facial que les permite identificar usuarios y detectar intrusos y accesos no autorizados.

A diferencia de las cámaras de vigilancia fijas que sólo son útiles cuando la intrusión o la incidencia tiene lugar delante de su objetivo, el dron es capaz de buscar, localizar y seguir objetivos. Además, se encuentra sobrevolando el objetivo a decenas de metros de altura, por lo que resulta imposible que sea sabotado con espráis de pintura.

Por todo esto, se cree muy adecuada la aplicación de drones como vigilancia en instalaciones mineras.

6.8. Promoción audiovisual

Por todos es conocida la mala fama que goza actualmente el sector minero a ojos del público general. Años de malas prácticas ambientales donde el desconocimiento ha llevado a las empresas mineras a producir daños ambientales irreversibles, han conseguido labrar esa mala imagen.

No obstante, la minera actual es totalmente diferente y dispone de tecnologías modernas y limpias que frente a un compromiso medioambiental las convierten en una industria limpia y sostenible.

Es por ello que este mensaje, muchas veces es necesario que llegue al público general y para ello no hay mejor manera que los medios audiovisuales. A través de imágenes aéreas de zonas restauradas por la empresa, así y como modelos 3D de la futura restauración, ayudan, por ejemplo, a convencer al pueblo y funcionariado de la necesidad de una explotación minera en su municipio.

6.9. Servicios de emergencia y rescate

En términos generales, la morfología de una explotación minera es abrupta y peligrosa. Tanto es así que pudiera darse el caso de que un trabajador cayera, por un desnivel a un punto inaccesible inmediatamente, o quedara atrapado en un camino sin poder acceder al siguiente.

El uso de drones como emergencia es un uso innovador y aun en desarrollo, pero en el caso que nos ocupa, casi de manera anecdótica, podría darse el caso que

se ha descrito anteriormente encontrándose un trabajador aislado y en situación de peligro.

Es por ello que un dron podría servir para enviarle material de primeros auxilios, un walkie-talkie para comunicarse con el personal de emergencias, o el cabo de una cuerda para acceder a un lugar seguro.

7. CÓMO ACCEDER AL USO DE UN DRON

Existen dos alternativas para poder utilizar los servicios de un dron en una actividad minera, que dependerán de la periodicidad con la que se vaya a utilizar el dron y la amortización del coste para la empresa.

- Si se le pretende dar un uso intensivo para el control de gran parte de las aplicaciones descritas en el apartado anterior, lo mejor es la compra.
- Si el uso será de forma esporádica, lo mejor será la subcontratación del servicio a una empresa operadora.

7.1. Obtención de un dron

Según el uso al que esté destinado, elegiremos una tipología de dron u otra de los descritos en el apartado 3.1. A grandes rasgos, para labores únicamente de topografía a tiempo real o control de la revegetación, el modelo ideal es un ala fija. Para los usos anteriores, más el uso esporádico de inspección, vigilancia, seguridad laboral, etc. el modelo idóneo es el multirrotor. Parece ser que las últimas tendencias en el mercado de los drones orientados a mineras es el multirrotor.

El precio del dron también variará del número de sensores con lo que le equipemos. El precio aproximado de un dron profesional para trabajos similares a los que se han descrito en este proyecto, incluyendo el software necesario para su utilización, comienza desde 20.000€ para un ala fija, hasta los 40.000 para un multirrotor con cámara HD y sensor multiespectral.

Además, si la empresa minera desea darse el servicio a sí misma, deberá cumplir con lo especificado en la Ley 18/2014 y darse de alta como empresa operadora

de drones, formar un piloto, y cumplir con toda la documentación y procedimientos indicados en esta ley.

Actualmente hay empresas que realizan el trámite de toda la documentación y forman a los pilotos, con un coste aproximado del conjunto de unos 2.000€.

7.2. Subcontratación del servicio

Actualmente hay cientos de empresas que ofrecen servicios con drones (2500 registradas en toda España), aunque la mayoría de ellas son servicios audiovisuales y son muchas menos las que ofrecen servicios técnicos de fotogrametría o con sensores multiespectrales.

Sea cual sea el caso, la empresa que subcontratemos deberá estar dada de alta como empresa operadora de drones habilitada por AESA y salir en su cuadro de operadores habilitados. También deberá cumplir en todo lo referente a la Ley 18/2014.

El precio aproximado de la jornada con dron para servicios técnicos oscila entre 450 y 600€/jornada aproximadamente, que habrá que sumarle, además, el precio de jornada de despacho de técnico que elaborará el informe, el cual es de unos 350€/jornada.

A continuación se adjunta un cuadro con las principales empresas de servicios con drones en Cataluña. Se añade a la tabla el hecho de conocer si realiza trabajos audiovisuales, agrícolas (sensores multiespectrales útiles para la restauración) o fotogrametría.

| Nombre | Tal como se definen en AERPAS | Audiovisual | Agrícola | Fotogrametría |
|---------------------------|---|-------------|----------|---------------|
| Aerial Productions | AERIAL PRODUCTIONS, S.C.P., es una operadora de RPAS-DRONES, de hasta 25 kilos de peso, autorizada por AESA. Disponemos de la última tecnología en RPAS lo que nos permite ofrecer el servicio de rodaje de imágenes aéreas de alta calidad. Servicio para profesionales de la imagen, video, productoras, cine, eventos, etc. Especializados en travellings, tomas de baja y media altura. Más de 20 años en el sector de la fotografía y video nos avalan. | Sí | No | No |
| AeroShots | AeroShots: “El Spin Off para mentes creativas”. Desde 2009 ofrecemos nuestro servicio de rodaje imágenes aéreas de alta calidad mediante plataformas aéreas no tripuladas. Operamos a baja altura, disponemos de equipos “ad hoc” que aportan soluciones técnicas y creativas a las necesidades de productoras dedicadas a la publicidad, cine y documentales. | Sí | No | No |
| Cat UAV | CATUAV es una empresa dedicada desde 2003 al desarrollo y explotación comercial de servicios UAV orientados a fotogrametría y teledetección. | No | Sí | Sí |
| Corsair Films | Corsair Films es una empresa de Barcelona, orientada a dar servicio de filmación de vídeo y fotografías aéreas con drones a productoras de vídeo, cine y TV, así como a empresas del sector audiovisual. Nuestro equipo humano cuenta con una experiencia de más de 20 años en el sector de la imagen, de la fotografía y en el mundo del Radio Control. Disponemos de múltiples equipos para afrontar cualquier tipo de reto, desde pequeños y ligeros equipos de drones, con cámara para proyectos dinámicos y ágiles, hasta grandes multirotores con gran capacidad de carga, capaces de levantar cámaras como la RED, ALEXA Mini y Black Magic. | Si | No | No |
| Dronair | Dronair es una empresa dedicada a los servicios de grabación aérea mediante drones y equipos de grabación de última generación. Así pues, también ofrece servicios a medida como vigilancia de recintos, monitoreo y control de instalaciones mediante infrarrojos. | Sí | No | No |
| Droningyou | Droning you SL es una empresa dedicada a la realización de servicios a través de RPAS, basando su actividad tanto en las producciones audiovisuales sobre obra civil y publicidad, como en la formación de pilotos de drones. Realizamos servicios profesionales a través de pilotos comerciales, adaptando los procedimientos de compañía a las necesidades de nuestros clientes, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente y cumpliendo con todos los parámetros de seguridad | Sí | No | No |

| | | | | |
|--------------------------|---|----|----|----|
| Donpixel | Dronpixel comercializa servicios de filmación aérea destinados tanto a profesionales del sector agrario, instituciones públicas o empresas audiovisuales. Ofrecemos también formación técnica a nivel de uso, mantenimiento y seguridad. | Sí | No | No |
| Flying Free Films | Flying Free Films es una empresa de Servicios Audiovisuales especializada en Vídeo Aéreo, Filmaciones Aéreas, Cinematografía Aérea y Fotografía Aérea. Utilizamos drones o multi rotores para la grabación de las imágenes. Somos un equipo multidisciplinar con amplia experiencia en el mundo de la imagen y la comunicación audiovisual, en el mundo de la ingeniería y en el mundo empresarial. Todo ello nos permite comprender y adaptar nuestros servicios a las necesidades de nuestros clientes. Además gozamos de la acreditación de AESA como operadores de trabajos aéreos y nuestros pilotos están certificados | Sí | No | No |
| GlobalDron | GlobalDron, empresa operadora autorizada por AESA. Ofrecemos servicios aéreos de grabación, fumigación, fotogrametría, etc y somos empresa colaboradora en la distribución, para la zona norte de la península, de RPAs de la marca Dronetools. | No | Sí | Sí |
| HE Producciones | HE PRODUCCIONES cree en la importancia de ver las cosas desde una perspectiva diferente. Estamos orgullosos de utilizar algunas de las últimas tecnologías en Drones y Stedycam que capturan vídeos y fotografías en alta definición. Como agencia de producción nos encargamos de todo el proceso creativo de principio a fin, proporcionando una gama completa de servicios de producción de vídeos corporativos – desde el concepto, la filmación y post-producción. Nuestras imágenes aéreas brindará un innovador y atractivo enfoque de sus productos y servicios que deleitaran a sus actuales y potenciales clientes. Una efectiva manera de comunicación visual. | Sí | No | No |
| HEMAV | HEMAV es una empresa de base tecnológica, ambiciosa y joven fundada el 2012 en Barcelona. Su principal objetivo es ofrecer servicios aéreos de alta calidad, fiabilidad y seguridad mediante plataformas RPAS/UAV. HEMAV es especialista en los campos de la fotografía, grabación aérea y teledetección agrícola además de ofrecer servicios personalizados. | Sí | Sí | Sí |
| MDRONE | MDRONE acumula una experiencia de más de 3000 vuelos hasta mediados de 2015, repartidos entre inspecciones industriales, en su mayor parte inspección de líneas eléctricas para Cobra, Endesa e Iberdrola, y fotogrametría, incluyendo tele-detección para agricultura de precisión. Esta experiencia avala nuestros protocolos de operación, así como nuestros equipos de la marca Dronetools. Ofrecemos soluciones personalizadas, dado que nuestra flota es muy versátil, pudiendo incorporar nuevos sensores o nuevas funcionalidades. | No | No | Si |

8. CONCLUSIÓN

En este proyecto se ha analizado con detalle qué es un dron, qué tipos hay, qué elementos lo componen, así y como la normativa vigente y las aplicaciones habituales de los drones.

Gracias a todo ello, se ha confeccionado una lista de aplicaciones potenciales de los drones en minería las cuales se pueden resumir en:

- Prospección.
- Topografía.
- Control de operaciones.
- Inspección técnica.
- Prevención de riesgos laborales.
- Control medioambiental.
- Vigilancia.
- Promoción audiovisual.
- Servicios de emergencia y rescate.

De esta manera, se puede concluir que esta tecnología dron que se encuentra en pleno auge y desarrollo, es de gran utilidad y tiene múltiples aplicaciones en el ámbito de la minería. Es por ello que se cree que necesario difundir esta información a las empresas tanto mineras como operadoras de drones para fomentar el uso de los drones en este campo. Gracias a ello, obtendremos una minería mucho más precisa, eficiente y sostenible ambientalmente.

Manresa, 17 de septiembre de 2017.



Manuel Sánchez García

9. BIBLIOGRAFIA

- Desconocido. Historia de los drones. *ELDRONE*. (<http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>)
- Pacheco, W. (2005-2017). Breve historia de los drones y algunos datos muy curiosos. *VIX*. (<https://www.vix.com/es/btg/tech/57756/breve-historia-de-los-drones-y-algunos-datos-muy-curiosos>)
- Joyvel. (15/02/2017). Historia de los drones. *Joyplanes*.(<http://joyplanes.com/historia-drones-rc/>)
- Desconocido. (10/09/2017). Vehículo aéreo no tripulado. *Wikipedia*.(https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_a%C3%A9reo_no_tripulado)
- David. Tipos de drones. *Minidrones*.(<http://www.minidrons.com/ucav-uavs-tipos-drones/>).
- Jaime. (2014-2017).Tipos de drones aéreos. *Dronespain*.(<http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>)
- Esenziale.(2016).Todas las partes de los drones. Explicadas al detalle. *Esenziale*.(<https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>)
- Marco Regulatorio. *Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA)*.(http://www.seguridadeaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/marco/default.aspx)
- Desconocido.(03/05/2017).Uso de drones en la actualidad y el futuro. *Global mediterránea Geomática*.(<http://www.globalmediterranea.es/uso-drones-la-actualidad-futuro/>)
- Desconocido.(25/08/2017). Teledetección. *Wikipedia*.(<https://es.wikipedia.org/wiki/Teledetecci%C3%B3n>)
- Griem.W. (2/02/2017). Métodos geofísicos II. *Museo virtual de geología*.(<http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap01e.htm>).
- Marquez.A. Los drones en la cartografía. *Mecinca*. (<http://www.mecinca.net/Presentaciones/DronesFotoAutoNube.pdf>)
- Chartuni. E. (2014). Manual de agricultura de precisión. *Procisur*.(http://www.procisur.org.uy/adjuntos/fb97915de88a_ura_de_precision.pdf).

ANEXO 1. Ley 18/2014 de 15 de octubre de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficacia. Artículos 50 y 51.

Artículo 47. *Medidas compensatorias en materia de calidad acústica.*

Los gestores aeroportuarios asumen los costes derivados de las medidas compensatorias en materia de calidad acústica para los municipios derivadas de lo previsto en el artículo cuarto, apartado 2, letra b), de la Ley 48/1960, de 21 de julio, de Navegación aérea.

Artículo 48. *Modificación de los anexos.*

Cualquier propuesta del gestor aeroportuario de modificación de los anexos de esta Ley relativos a la metodología para la determinación del ingreso máximo anual por pasajero (IMAP) en el Documento de Regulación Aeroportuaria (DORA) quinquenal y a la determinación del ingreso máximo anual por pasajero ajustado (IMAAJ) estará sujeta a un procedimiento de consulta previo con las asociaciones representativas de usuarios, cuya duración no podrá ser inferior a dos meses, en el que Aena, S.A., les facilitará información suficiente para valorar la propuesta y su impacto sobre las modificaciones tarifarias.

Con el resultado de las consultas Aena, S.A., formulará nueva propuesta en la que deberá ponerse de manifiesto cómo se han tomado en consideración los puntos de vista de las compañías usuarias y justificar su decisión en caso de desacuerdo, y de la propuesta adoptada se dará traslado al Ministerio de Fomento que, en su caso, recabará informe de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia sobre la propuesta.

Artículo 49. *Incentivos comerciales.*

1. Lo dispuesto en las secciones 1.^a a 4.^a de este capítulo no obsta a que Aena, S.A., pueda establecer incentivos comerciales que, sin afectar al régimen jurídico y cuantía de las prestaciones patrimoniales públicas por los servicios aeroportuarios básicos, se fijen conforme a criterios objetivos, transparentes y no discriminatorios y sean conformes con las normas sobre competencia.

En ningún caso dichos incentivos afectarán al cálculo de los ingresos regulados requeridos a que se refieren dichas Secciones.

2. La propuesta de Documento de Regulación Aeroportuaria (DORA) que Aena, S.A., someta a consultas y la que, tras estas, remita a los órganos correspondientes, debe recoger los esquemas de incentivos previstos para el quinquenio.

Sección 6.^a Aeronaves civiles pilotadas por control remoto

Artículo 50. *Operación de aeronaves civiles pilotadas por control remoto.*

1. Hasta tanto se produzca la entrada en vigor de la norma reglamentaria prevista en la Disposición final segunda, apartado 2, de esta Ley, las operaciones de aeronaves civiles pilotadas por control remoto quedan sujetas a lo establecido en este artículo.

El cumplimiento de lo dispuesto en este artículo no exime al operador, que es, en todo caso, el responsable de la aeronave y de la operación, del cumplimiento del resto de la normativa aplicable, en particular en relación con el uso del espectro radioeléctrico, la protección de datos o la toma de imágenes aéreas, ni de su responsabilidad por los daños causados por la operación o la aeronave.

2. Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue exceda de 25 kg deben estar inscritas en el Registro de matrícula de aeronaves y disponer de certificado de aeronavegabilidad, quedando exentas del cumplimiento de tales requisitos las aeronaves civiles pilotadas por control remoto con una masa máxima al despegue igual o inferior.

Además, todas las aeronaves civiles pilotadas por control remoto deberán llevar fijada a su estructura una placa de identificación en la que deberá constar, de forma legible a simple vista e indeleble, la identificación de la aeronave, mediante la designación específica y, en su caso, número de serie, así como el nombre de la empresa operadora y los datos necesarios para ponerse en contacto con la misma.

3. Podrán realizarse actividades aéreas de trabajos técnicos o científicos por aeronaves civiles pilotadas por control remoto, de día y en condiciones meteorológicas visuales con sujeción a los siguientes requisitos:

a) Sólo podrán operar en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado, más allá del alcance visual del piloto, dentro del alcance de la emisión por radio de la estación de control y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m), las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue sea inferior a 2 kg, siempre que cuenten con medios para poder conocer la posición de la aeronave. La realización de los vuelos estará condicionada a la emisión de un NOTAM por el proveedor de servicios de información aeronáutica, a solicitud del operador debidamente habilitado, para informar de la operación al resto de los usuarios del espacio aéreo de la zona en que ésta vaya a tener lugar.

b) Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue no exceda de 25 kg, sólo podrán operar en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado, dentro del alcance visual del piloto, a una distancia de éste no mayor de 500 m y a una altura sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m).

c) Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima al despegue exceda de 25 kg y no sea superior a 150 kg y aquéllas cuya masa máxima de despegue sea igual o superior a 150 kg destinadas a la realización de actividades de lucha contra incendios o búsqueda y salvamento, sólo podrán operar, con las condiciones y limitaciones establecidas en su certificado de aeronavegabilidad emitido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, en espacio aéreo no controlado.

d) Además, las operaciones previstas en las letras precedentes requerirán:

1.º Que el operador disponga de la documentación relativa a la caracterización de las aeronaves que vaya a utilizar, incluyendo la definición de su configuración, características y prestaciones.

2.º Que se disponga de un Manual de operaciones del operador que establezca los procedimientos de la operación.

3.º Que haya realizado un estudio aeronáutico de seguridad de la operación u operaciones, en el que se constate que la misma puede realizarse con seguridad. Este estudio, que podrá ser genérico o específico para un área geográfica o tipo de operación determinado, tendrá en cuenta las características básicas de la aeronave o aeronaves a utilizar y sus equipos y sistemas.

4.º Que se hayan realizado, con resultado satisfactorio, los vuelos de prueba que resulten necesarios para demostrar que la operación pretendida puede realizarse con seguridad.

5.º Que se haya establecido un programa de mantenimiento de la aeronave, ajustado a las recomendaciones del fabricante.

6.º Que la aeronave esté pilotada por control remoto por pilotos que cumplan los requisitos establecidos en esta disposición.

7.º Se exigirá a los operadores de las aeronaves civiles pilotadas por control remoto, una póliza de seguro u otra garantía financiera que cubra la responsabilidad civil frente a terceros por daños que puedan surgir durante y por causa de la ejecución del vuelo, según los límites de cobertura que se establecen en el Real Decreto 37/2001, de 19 de enero, por el que se actualiza la cuantía de las indemnizaciones por daños previstas en la Ley 48/1960, de 21 de julio, de Navegación Aérea, para las aeronaves de peso inferior a 20 kilogramos de peso máximo al despegue. Así mismo, para aquellas aeronaves cuyo peso sea superior a 20 kilogramos de peso máximo al despegue será aplicable el límite de cobertura establecido en el Reglamento (CE) n.º 785/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre los requisitos de seguro de las compañías aéreas y operadores aéreos.

8.º Que se hayan adoptado las medidas adecuadas para proteger a la aeronave de actos de interferencia ilícita durante las operaciones, incluyendo la interferencia deliberada del enlace de radio y establecido los procedimientos necesarios para evitar el acceso de personal no autorizado a la estación de control y a la ubicación de almacenamiento de la aeronave.

9.º Que se hayan adoptado las medidas adicionales necesarias para garantizar la seguridad de la operación y para la protección de las personas y bienes subyacentes.

10.º Que la operación se realice a una distancia mínima de 8 km respecto de cualquier aeropuerto o aeródromo o, para el caso de vuelos encuadrados en el apartado 3, letra a), si la infraestructura cuenta con procedimientos de vuelo instrumental, a una distancia mínima de 15 km de su punto de referencia. En otro caso y para los supuestos contemplados en este número, que se hayan establecido los oportunos mecanismos de coordinación con dichos aeródromos o aeropuertos. La coordinación realizada deberá documentarse, estando obligado el operador a conservarla a disposición de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

4. Asimismo, podrán realizarse los siguientes tipos de vuelos por aeronaves civiles pilotadas por control remoto, de día y en condiciones meteorológicas visuales, en espacio aéreo no controlado, dentro del alcance visual del piloto, o, en otro caso, en una zona del espacio aéreo segregada al efecto y siempre en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre:

a) Vuelos de prueba de producción y de mantenimiento, realizados por fabricantes u organizaciones dedicadas al mantenimiento.

b) Vuelos de demostración no abiertos al público, dirigidos a grupos cerrados de asistentes a un determinado evento o de clientes potenciales de un fabricante u operador.

c) Vuelos para programas de investigación, nacionales o europeos, en los que se trate de demostrar la viabilidad de realizar determinada actividad con aeronaves civiles pilotadas por control remoto.

d) Vuelos de desarrollo en los que se trate de poner a punto las técnicas y procedimientos para realizar una determinada actividad con aeronaves civiles pilotadas por control remoto previos a la puesta en producción de esa actividad.

e) Vuelos de I+D realizados por fabricantes para el desarrollo de nuevos productos.

f) Vuelos de prueba necesarios para demostrar que las actividades solicitadas conforme al apartado 3 pueden realizarse con seguridad.

La realización de estos vuelos requerirá además, el cumplimiento de los requisitos establecidos en el apartado 3, letra d), números 1.º, 3.º, 6.º, 7.º, 8.º, 9.º y 10.º y, además, establecer una zona de seguridad en relación con la zona de realización del vuelo.

En los casos en que la operación se vaya a realizar por un operador no sujeto a la supervisión de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, deberá disponer de la autorización de la autoridad aeronáutica del país de origen para la realización de la actividad de que se trate y acreditar ante la Agencia Estatal de Seguridad Aérea que los requisitos de aquella autoridad son al menos equivalentes a los establecidos en este apartado.

5. Los pilotos deberán acreditar los siguientes requisitos:

a) Ser titulares de cualquier licencia de piloto, incluyendo la licencia de piloto de ultraligero, emitida conforme a la normativa vigente, o haberlo sido en los últimos cinco años y no haber sido desposeídos de la misma en virtud de un procedimiento sancionador, o

b) demostrar de forma fehaciente que disponen de los conocimientos teóricos necesarios para la obtención de cualquier licencia de piloto, incluyendo la licencia de piloto de ultraligero, o

c) para las aeronaves de masa máxima al despegue no superior a 25 kg, disponer:

1.º Para volar dentro del alcance visual del piloto, de un certificado básico para el pilotaje de aeronaves civiles pilotadas por control remoto, emitido por una organización

de formación aprobada, conforme al anexo VII del Reglamento (UE) n.º 1178/2011 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2011, por el que se establecen requisitos técnicos y procedimientos administrativos relacionados con el personal de vuelo de la aviación civil, que acredite que dispone de los conocimientos teóricos adecuados en las materias de: normativa aeronáutica, conocimiento general de las aeronaves (genérico y específico), performance de la aeronave, meteorología, navegación e interpretación de mapas, procedimientos operacionales, comunicaciones y factores humanos para aeronaves civiles pilotadas por control remoto.

2.º Para volar más allá del alcance visual del piloto, de certificado avanzado para el pilotaje de aeronaves civiles pilotadas por control remoto, emitido por una organización de formación aprobada, conforme al anexo VII del Reglamento (UE) n.º 1178/2011 de la Comisión, que acredite además de los conocimientos teóricos señalados en el número 1.º, conocimientos de servicios de tránsito aéreo y comunicaciones avanzadas.

d) Además, en los supuestos previstos en las letras b) y c), deberán acreditar:

1.º Tener 18 años de edad cumplidos.

2.º Los pilotos que operen aeronaves de hasta 25 kilos de masa máxima al despegue deberán ser titulares, como mínimo, de un certificado médico que se ajuste a lo previsto en el apartado MED.B.095 del anexo IV, Parte MED, del Reglamento (UE) número 1178/2011 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2011, por el que se establecen requisitos técnicos y procedimientos administrativos relacionados con el personal de vuelo de la aviación civil en virtud del Reglamento (CE) n.º 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, en relación a los certificados médicos para la licencia de piloto de aeronave ligera (LAPL).

3.º Los pilotos que operen aeronaves de una masa máxima al despegue superior a 25 kilos deberán ser titulares como mínimo de un certificado médico de Clase 2, que se ajuste a los requisitos establecidos por la sección 2, de la subparte B, del anexo IV, Parte MED, del Reglamento (UE) n.º 1178/2011 de la Comisión, emitido por un centro médico aeronáutico o un médico examinador aéreo autorizado.

e) Además, en todos los casos, deberán disponer de un documento que acredite que disponen de los conocimientos adecuados de la aeronave y sus sistemas, así como de su pilotaje, emitido bien por el operador, bien por el fabricante de la aeronave o una organización autorizada por éste, o bien por una organización de formación aprobada. En ningún caso dicho documento podrá haber sido emitido por el piloto para el que solicita la autorización.

6. El ejercicio de las actividades previstas en los apartados 3 y 4 por aeronaves cuya masa máxima al despegue sea igual o inferior a 25 kg, estará sujeta a la comunicación a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea con una antelación mínima de cinco días al día del inicio de la operación. La comunicación previa deberá contener:

a) Los datos identificativos del operador, de las aeronaves que vayan a utilizarse en la operación y de los pilotos que la realicen, así como las condiciones en que cada uno de ellos acredita los requisitos exigibles conforme al apartado 5.

b) La descripción de la caracterización de dichas aeronaves, incluyendo la definición de su configuración, características y prestaciones.

c) El tipo de trabajos técnicos o científicos que se vayan a desarrollar o, en otro caso, los vuelos que se vayan a realizar y sus perfiles, así como de las características de la operación.

d) Las condiciones o limitaciones que se van a aplicar a la operación o vuelo para garantizar la seguridad.

Junto a la comunicación previa, el operador deberá presentar una declaración responsable en el que manifieste, bajo su responsabilidad, que cumple con cada uno de los requisitos exigibles conforme a lo previsto en este artículo para la realización de las

actividades u operaciones comunicadas, que dispone de la documentación que así lo acredita y que mantendrá el cumplimiento de dichos requisitos en el período de tiempo inherente a la realización de la actividad. Además de esta declaración responsable el operador deberá presentar el Manual de operaciones, el estudio aeronáutico de seguridad y la documentación acreditativa de tener suscrito el seguro obligatorio exigidos, respectivamente, por el apartado 3, letra d), números 2.º, 3.º y 7.º, y apartado 4. Cuando la comunicación previa se refiera a las operaciones previstas en el apartado 3, deberá presentarse junto a esta documentación el programa de mantenimiento y acreditación de la realización de los vuelos de prueba con resultado satisfactorio a que se refieren los números 4.º y 5.º de la letra d) de dicho apartado.

Cualquier modificación de la comunicación deberá ser comunicada a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea con una antelación mínima de 5 días al día de la implementación de la modificación, presentando actualizada la declaración responsable y, en su caso, la documentación acreditativa complementaria prevista en este apartado.

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea está obligada a emitir un acuse de recibo en el plazo de cinco días a contar desde el día de recepción de la documentación en el que, como mínimo, figuren las actividades para cuyo ejercicio queda habilitado por la comunicación o su modificación.

7. El ejercicio de las actividades previstas en los apartados 3 y 4 por aeronaves cuya masa máxima al despegue exceda de 25 kg así como cualquier modificación en las condiciones de ejercicio de dichas actividades o de los requisitos acreditados, estará sujeta a la previa autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, conforme a lo previsto en este apartado.

La solicitud de autorización y sus modificaciones tendrá el contenido mínimo previsto para la comunicación previa en el apartado anterior y junto a ella deberá presentarse la declaración responsable y documentación complementaria exigida en dicho apartado.

8. La comunicación previa o autorización de la realización de los trabajos técnicos o científicos previstos en el apartado 3, y sus modificaciones habilita para el ejercicio de la actividad por tiempo indefinido, en el caso de las operaciones sujetas a comunicación previa una vez transcurrido el plazo de cinco días a que se refiere el apartado 6, con sujeción, en todo caso, al cumplimiento de los requisitos exigidos y en tanto se mantenga su cumplimiento.

La comunicación previa o autorización de la realización de los vuelos previstos en el apartado 4, y sus modificaciones habilita exclusivamente para la realización de aquellos vuelos que, según sea el caso, se hayan autorizado o comunicado con la antelación prevista en el apartado 6 y con sujeción, en todo caso, al cumplimiento de los requisitos exigidos y en tanto se mantenga su cumplimiento.

Los operadores habilitados conforme a lo previsto en este artículo para el ejercicio de las actividades aéreas a que se refiere el apartado 3, podrán realizar, bajo su responsabilidad, vuelos que no se ajusten a las condiciones y limitaciones previstas en los apartados 3 y 4 en situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, así como para la protección y socorro de personas y bienes en los casos en que dichas situaciones se produzcan, cuando les sea requerido por las autoridades responsables de la gestión de dichas situaciones.

9. Reglamentariamente se establecerá el régimen jurídico a que queda sujeta la operación e aeronaves civiles pilotadas por control remoto, en otros supuestos distintos de los contemplados en esta Ley.

10. Por resolución del Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea se podrán establecer los medios aceptables de cumplimiento cuya observancia acredita el cumplimiento de los requisitos establecidos en este artículo.

Sección 7.^a Otras reformas en materia de navegación y seguridad aérea

Artículo 51. *Modificación de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea.*

La Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, queda modificada de la siguiente manera:

Uno. El artículo once queda redactado como sigue:

«Artículo once.

Se entiende por aeronave:

- a) Toda construcción apta para el transporte de personas o cosas capaz de moverse en la atmósfera merced a las reacciones del aire, sea o no más ligera que éste y tenga o no órganos motopropulsores.
- b) Cualquier máquina pilotada por control remoto que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.»

Dos. El artículo ciento cincuenta queda redactado de la siguiente manera:

«Artículo ciento cincuenta.

1. Las aeronaves de transporte privado de Empresas, las de Escuelas de Aviación, las dedicadas a trabajos técnicos o científicos y las de turismo y las deportivas, quedarán sujetas a las disposiciones de esta Ley, en cuanto les sean aplicables, con las excepciones que a continuación se expresan:

Primera. No podrán realizar ningún servicio público de transporte aéreo de personas o de cosas, con o sin remuneración.

Segunda. Podrán utilizar terrenos diferentes de los aeródromos oficialmente abiertos al tráfico, previa autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

2. Las aeronaves civiles pilotadas por control remoto, cualesquiera que sean las finalidades a las que se destinen excepto las que sean utilizadas exclusivamente con fines recreativos o deportivos, quedarán sujetas asimismo a lo establecido en esta Ley y en sus normas de desarrollo, en cuanto les sean aplicables. Estas aeronaves no estarán obligadas a utilizar infraestructuras aeroportuarias autorizadas, salvo en los supuestos en los que así se determine expresamente en su normativa específica.»

Tres. El párrafo primero del artículo ciento cincuenta y uno queda redactado como sigue:

«Las actividades aéreas que se realicen a los fines del artículo anterior, excepto las de turismo y las deportivas, requerirán la comunicación previa a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea o su autorización, a efectos de mantener la seguridad en las operaciones aeronáuticas y de terceros, en los casos en que la naturaleza de estas operaciones, el entorno o circunstancias en que se realizan supongan riesgos especiales para cualquiera de ellos, y estarán sometidas a su inspección en los términos establecidos por la legislación vigente.»

Cuatro. Se adiciona una nueva disposición transitoria tercera del siguiente tenor:

«Disposición transitoria tercera. *Régimen transitorio en materia de autorizaciones.*

En tanto no sea de aplicación la normativa específica que regule la comunicación previa prevista en el artículo ciento cincuenta y uno, será exigible la

previa autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea para el ejercicio de las actividades previstas en dicho precepto.»

Artículo 52. *Modificación de la Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de medidas fiscales administrativas y del orden social.*

El artículo 166 de la Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, queda redactado como sigue:

«Artículo 166.

1. Para garantizar las necesidades del tránsito y transporte aéreo y, en relación con los aeropuertos de interés general, el cumplimiento de los fines de interés general establecidos en el artículo 21 de la Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, así como las necesidades de gestión del espacio aéreo y los servicios de navegación aérea, el Ministerio de Fomento delimitará para los aeropuertos de interés general una zona de servicio que incluirá las superficies necesarias para la ejecución de las actividades aeroportuarias, las destinadas a las tareas complementarias de ésta y los espacios de reserva que garanticen la posibilidad de desarrollo y crecimiento del conjunto y aprobará el correspondiente Plan Director de la misma en el que se incluirán, además de las actividades contempladas en el artículo 39 de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, los usos industriales y comerciales cuya localización en ella resulte necesaria o conveniente por su relación con el tráfico aéreo o por los servicios que presten a los usuarios del mismo.

En la tramitación de los Planes Directores se recabará el informe de la correspondiente Comunidad Autónoma y de otras administraciones públicas afectadas, en relación con sus respectivas competencias, en particular en materia urbanística y de ordenación del territorio, en los términos previstos reglamentariamente.

2. Los planes generales y demás instrumentos generales de ordenación urbana calificarán los aeropuertos y su zona de servicio como sistema general aeroportuario y no podrán incluir determinaciones que supongan interferencia o perturbación en el ejercicio de las competencias de explotación aeroportuaria.

Dicho sistema general aeroportuario se desarrollará a través de un plan especial o instrumento equivalente, que se formulará por el gestor, de acuerdo con las previsiones contenidas en el correspondiente Plan Director y se tramitará y aprobará de conformidad con lo establecido en la legislación urbanística aplicable.

La autoridad urbanística competente para la aprobación del Plan Especial dará traslado al gestor del acuerdo de aprobación provisional del mismo para que éste se pronuncie en el plazo de un mes sobre los aspectos de su competencia, en caso de desacuerdo entre ambos se abrirá un período de consultas por un plazo de seis meses y si, al término del mismo, no se hubiere logrado un acuerdo expreso entre ellas sobre el contenido del Plan Especial, se remitirá el expediente al Consejo de Ministros al que corresponderá informar con carácter vinculante.

3. Las obras que realice el gestor dentro del sistema general aeroportuario deberán adaptarse al plan especial de ordenación del espacio aeroportuario o instrumento equivalente. Para la constatación de este requisito, deberán someterse a informe de la administración urbanística competente, que se entenderá emitido en sentido favorable si no se hubiera evacuado de forma expresa en el plazo de un mes desde la recepción de la documentación. En el caso de que no se haya aprobado el plan especial o instrumento equivalente, a que se refiere el apartado 2 de este artículo, las obras que realice el gestor en el ámbito aeroportuario deberán ser conformes con el Plan Director del Aeropuerto.

Las obras de nueva construcción, reparación y conservación que se realicen en el ámbito del aeropuerto y su zona de servicio por el gestor no estarán sometidas a